

Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

ESTOCAGEM SUBTERRÂNEA DE GÁS NATURAL: UM ESTUDO DE VIABILIDADE VOLTADO PARA A COMPLEMENTAÇÃO TÉRMICA DO SISTEMA ELÉTRICO INTERLIGADO BRASILEIRO

C. L. Goraieb¹, R. G. Altmann¹, C. P. da Silva², P. R. R. Martins¹, A. R. Osoegawa¹, F. Bortolotti¹,
V. L. Galli¹, L. K. Dehira¹, W. S. Iyomasa¹, A. S. O. Yu¹, P. B. M. de Azevedo¹, P. C. Soares³,
A. L. Gesicki⁴, P. C. Boggiani⁴

¹ Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, Av. Prof. Almeida Prado, 532, CEP 05508-901, São Paulo – SP (cgoraieb@ipt.br)

² El Paso Brasil, Av. Pasteur 154, CEP 22290-240, Rio de Janeiro – RJ
(celso.silva@elpaso.com)

³ Universidade Federal do Paraná, Depto de Geologia, CEP 81531-990, Curitiba – PR
(p_soares@terra.com.br)

⁴ Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, Rua do Lago, 562, CEP 05508-080, São Paulo – SP (boggiani@usp.br)

Resumo – Esse trabalho teve como objetivo desenvolver estudos geológicos e técnico-econômicos voltados para a análise de pré-viabilidade da Estocagem Subterrânea de Gás Natural – ESGN, considerando uma maior inserção das termelétricas no sistema elétrico interligado brasileiro. Os estudos geológicos se concentraram em terrenos sedimentares da Bacia do Paraná, na área de influência do Gasoduto Bolívia-Brasil (Gasbol), nos Estados do Paraná e Mato Grosso do Sul. ESGNs atuando junto a termelétricas possibilitam regular estoques do combustível, maior eficiência econômica a partir da redução nos níveis de contratação de gás e maior flexibilização operacional para atender ao mercado. A utilização conjunta de termelétricas e ESGNs durante o período em que o potencial de energia armazenada e o nível dos reservatórios hidrelétricos são mais críticos (setembro a janeiro), possibilitaria a adição de uma parcela representativa de energia no sistema interligado, otimizando o potencial hidráulico instalado e diminuindo os riscos de racionamentos. O potencial geológico da Bacia do Paraná e a crescente demanda de energia e gás natural, deverão contribuir para que projetos de ESGN na área de influência do Gasbol possam vir a ser viabilizados.

Palavras-Chave: Estocagem Subterrânea, Gás Natural, Gasbol, Sistema Elétrico Interligado, Termelétricas.

Abstract – The purpose of this work was to develop geologic, technical and economic studies directed toward the preliminary viability analysis of the Underground Natural Gas Storage (UNGS), considering a higher insertion of the thermal power plants in the Brazilian electrical interconnected system. The geologic studies were concentrated in the Paraná sedimentary basin, at the influence area of the Bolivia-Brazil gas pipeline (Gasbol), in the States of Paraná and Mato Grosso do Sul. UNGS acting together with thermal power plants make possible to regulate fuel supplies, higher economic efficiency upon reduction in the gas contract level, and better operational flexibility to attend the market. The combination of thermal power plants with UNGS during the period when the potential of stored energy and the level of the hydroelectric reservoirs are more critical (September to January), would allow the addition of a representative amount of energy in the interconnected system, optimizing the installed hydraulic potential and reducing rationing risks. The geologic potential of the Paraná basin and the increasing demand of energy and natural gas will contribute to the viability of UNGS projects development in the Gasbol influence area.

Keywords: Underground Storage, Natural Gas, Gasbol, Electrical Interconnected System, Thermal Power Plants.

1. Introdução

Este estudo se insere no contexto de crescimento do consumo de gás natural e, ao mesmo tempo, na possibilidade de maior inserção das termelétricas no sistema interligado brasileiro de geração de energia elétrica. A abordagem considera os diversos elementos ligados ao setor, com o intuito de analisar, preliminarmente, a viabilidade técnica e econômica da Estocagem Subterrânea de Gás Natural (ESGN) e, de forma mais específica, de ESGNs ligadas a termelétricas, que são grandes consumidoras de GN. Trata-se de um estudo de caráter preliminar, que pretende demonstrar as possibilidades geológicas, técnicas e econômicas de implantação de ESGNs, e em quais cenários ou circunstâncias estas poderiam ser viáveis no país. Na parte geológica do estudo foi possível identificar e avaliar estruturas geológicas em terrenos sedimentares da Bacia do Paraná, na zona de influência do gasoduto Bolívia-Brasil (Gasbol), com ênfase nos Estados do Paraná e Mato Grosso do Sul. Na parte técnico-econômica foram simulados cenários futuros distintos, considerando diferentes tipos de demandas, o mercado de energia e gás natural, bem como dados de usinas termelétricas já existentes na região centro-sul do país.

2. Alguns Aspectos da Estocagem Subterrânea de Gás Natural

O princípio da tecnologia de armazenamento subterrâneo consiste em injetar grande quantidade de gás, a pressões elevadas, em estruturas geológicas existentes em ambientes naturais constituídos por rochas sedimentares. Os diferentes tipos de armazenamentos subterrâneos utilizados no mundo são: 1-aproveitamento de campos ou reservatórios naturais de óleo e gás já explorados e exauridos; 2-aquíferos salinos profundos, constituídos por rochas de porosidade elevada, capeadas por camadas pouco permeáveis; 3-estocagem em cavernas artificiais construídas através da lixiviação de espessas camadas de rochas salinas; 4-cavidades de minas subterrâneas abandonadas (Cedigaz 1995).

O volume total de gás contido em uma estocagem é constituído de duas partes distintas: Gás Base ou *Cushion Gas* e Gás Útil ou *Working Gas*. O gás base, que não pode ser totalmente recuperado ao final da vida útil da estocagem, permanece no horizonte inferior do reservatório para manter a pressão suficientemente alta durante as operações de retirada do gás útil. A quantidade de gás útil em relação ao *cushion gas* varia de acordo com o tipo de estocagem. Em cavernas salinas esta relação varia de 1:0,5 até 1:0,2. Em aquíferos e campos exauridos o *cushion gas* geralmente ocupa entre 50 a 60% do volume do reservatório.

Armazenamentos em aquíferos e reservatórios exauridos são, historicamente, utilizados para ajustes sazonais em mercados previsíveis e constantes, ou para constituir reservas estratégicas, uma vez que os volumes de gás útil que podem ser armazenados são muito superiores que aqueles em cavernas salinas ou minas abandonadas. Estas duas últimas classes correspondem a armazenamentos utilizados em períodos curtos de demandas extremas, a exemplo de picos diários de consumo. Cabe salientar que projetos de ESGN em aquíferos são de longo prazo, e necessitam de até uma década para se tornar plenamente operacionais, daí a importância de se iniciar os primeiros estudos desde já.

Na maioria dos países onde o GN tem participação representativa na matriz energética existem ESGNs, que geralmente são localizadas nas proximidades de centros industriais e urbanos por razões logísticas e estratégicas. Além de garantir a demanda dos grandes centros consumidores, principalmente durante os meses mais frios, na Europa e América do Norte, o armazenamento de GN previne uma possível falha no sistema de transporte e abastecimento, regula as oscilações sazonais de preços e permite um melhor planejamento e controle de sua distribuição. Adicionalmente às funções tradicionais, as ESGNs também têm sido utilizadas para negociação de contratos de compra e transporte mais atrativos e para obter ganhos com a variação do preço do GN (Cedigaz, 1995; International Gas Union, 2000).

3. Potencial Geológico para ESGN

A estocagem em aquíferos é a mais adequada para a área de influência do Gasbol. Os principais condicionantes geológicos para estocagem de gás em aquíferos estão relacionados com a presença de bons reservatórios, capeados por rocha seladora impermeável, ambos contidos em estrutura anticlinal, ou sistemas de blocos falhados, soerguidos e rebaixados, de forma que a camada reservatório tenha fechamento lateral. A Bacia do Paraná possui atributos geológicos que se ajustam a esses requisitos. A grande extensão em área, o espesso pacote sedimentar e vulcânico, relações adequadas entre camadas porosas e impermeáveis, e os sucessivos eventos tectônicos geradores de estruturas são características importantes para a potencialidade da bacia.

A análise do arcabouço litoestratigráfico da bacia indica que as unidades potenciais para reservatórios de gás e as unidades argilosas que podem atuar como camadas selantes são: 1) Fm. Furnas, capeada por folhelhos da Fm. Ponta Grossa; 2) Grupo Itararé, inclusive Fm. Aquidauana, com arenitos capeados por diamictitos; 3) Fms. Rio Bonito e Dourados, capeadas por siltitos e folhelhos da Fm. Palermo, além de calcários e folhelhos da Fm. Irati.

As trapas ou armadilhas geológicas na Bacia do Paraná foram originadas através das diversas fases de reativação de paleoestruturas. Encontram-se espacialmente distribuídas ao longo das principais zonas de falhas do embasamento da bacia, preferencialmente em regiões onde ocorre a intersecção de descontinuidades estruturais regionais. As deformações associadas consistem basicamente de “estruturas-em-flor”, dobras de cobertura, falhas

reversas e falhas normais escalonadas. Apresentam geometria do tipo *horsts dômicos* associados a transcorrências e blocos altos e baixos de sistemas distensionais, com geometria do tipo *horsts e grabens* condicionados por falhas normais. Correspondem a altos estruturais com duplo caimento (estruturas dômicas) ou estruturas assimétricas com basculamentos locais (Soares, 1978, 1992; Zalán *et al.*, 1990; Rostirolla *et al.*, 2000; Artur & Soares, 2002). As rochas selantes destes sistemas de acumulação correspondem a sedimentos pelíticos e soleiras de diabásio, estas últimas, comparativamente menos contínuas e menos efetivas.

A partir do contorno estrutural de determinados horizontes estratigráficos foram elaborados modelos tridimensionais que permitiram inferir a geometria e avaliar, preliminarmente, as condições de fechamento da estrutura, bem como a capacidade de estocagem dos sítios geológicos considerados potenciais e prioritários. O volume de rocha-reservatório e a capacidade de estocagem de gás de uma determinada estrutura podem ser obtidos através da integração da área da superfície de contorno com a espessura da área de fechamento, calculados a partir da fórmula abaixo (Katz & Lee, 1990):

$$V_E = \frac{V_R \cdot \phi \cdot (1 - S_w)}{F_V} \times 1000000, \quad (1)$$

onde:

V_E = Volume de estocagem

V_R = Volume de rocha-reservatório trapeada

ϕ = Porosidade

S_w = Saturação de água irreduzível

F_V = Fator volumétrico

Os resultados preliminares desta avaliação indicam a existência de estruturas com geometria, tamanho, profundidades e capacidades de estocagem bastante variáveis (de 120 milhões de m³ a 1,5 bilhões de m³ de gás útil).

4. Estudo Técnico-Econômico

A abordagem efetuada nesta parte do estudo se iniciou com a estruturação dos principais fatores que influenciam a implementação de uma ESGN, bem como suas inter-relações, os quais são representados, de forma simplificada, em um Diagrama de Influência (Figura 1).

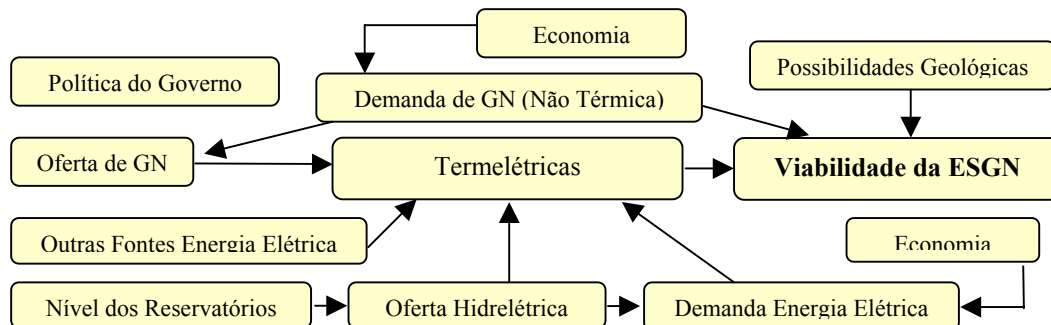


Figura 1. Diagrama representando os principais fatores que influenciam a viabilidade de uma estocagem subterrânea de gás natural e suas inter-relações

Pensando na viabilidade das estocagens junto ao sistema elétrico nacional, destaca-se a existência de duas relações de oferta e demanda, a de Energia Elétrica e a de GN, que exercem influência direta sobre as termelétricas, além das possibilidades geológicas, que em conjunto influenciam a viabilidade da ESGN. A influência das hidrelétricas e de seus reservatórios na oferta de energia elétrica é extremamente representativa, dado que a geração hidráulica é predominante no país. Considerando o período de racionamento enfrentado pelo país em 2001, e as perspectivas de queda na oferta de energia a partir de 2007, conforme demonstram os estudos do Operador Nacional do Sistema (ONS), caso não ocorram, em tempo hábil, novos investimentos no setor, ampliam-se as possibilidades de consolidação, em curto prazo, da geração termelétrica, seja com uma maior utilização das usinas já instaladas ou com a expansão através de novos investimentos.

Para o refinamento das análises foi importante definir um padrão de utilização para as termelétricas de forma coerente com o setor no Brasil. A base para o desenvolvimento do padrão de utilização das termelétricas para este estudo fundamenta-se na existência de períodos críticos de abastecimento das hidrelétricas, representados pelos meses que sucedem os intervalos de baixo índice pluviométrico. Assim, foi definido que um uso pertinente de parte do potencial termelétrico seria o de complementação ao sistema interligado brasileiro de energia, acentuando seu uso entre os meses de setembro de um ano até janeiro do subsequente. Partindo desta lógica, foi simulada a influência de um dado potencial termelétrico (1.283 MWmed, que corresponde a 30% do potencial instalado nas regiões sul, sudeste e centro-oeste) na curva representativa do nível dos reservatórios das hidrelétricas. Esse valor é designado como a Energia

Armazenada (EAR) do sistema e o resultado desta simulação para dados consolidados históricos e reais está representado na Figura 2. O gráfico mostra que o uso estratégico de termelétricas conjuntamente com ESGNs, durante os meses de baixo EAR, teria amenizado a crise de falta de energia no país, pois os reservatórios hidrelétricos estariam, em média, 60% mais elevados durante o período crítico, quando ocorreu o racionamento (maio de 2001 a fevereiro de 2002).

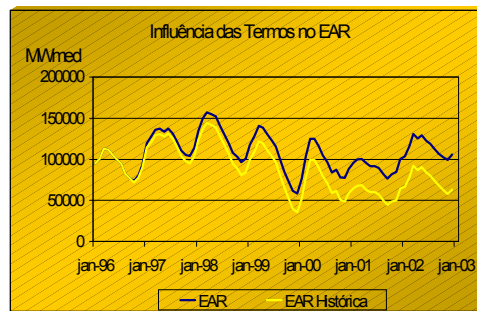


Figura 2. - Influência da inserção das termelétricas no nível dos reservatórios hidrelétricos.

4.1. Viabilidade Técnica

A viabilidade técnica de uma estocagem depende do dimensionamento adequado da demanda futura de operação da mesma. Um esquema de operação sazonal das termelétricas, conforme simulado acima, permitiria a injeção de gás nos reservatórios subterrâneos durante os meses sem operação termelétrica, e durante os 5 meses de operação as estocagens seriam utilizadas para complementar o suprimento do combustível. Um exemplo de ESGN operando nestas condições é apresentado na Figura 3, que representa o nível de GN estocado e retirado em função do tempo de utilização, para o potencial térmico considerado (1.283 MWmed). Períodos longos e bem definidos de injeção e retirada de GN, são compatíveis com a operação de ESGNs em aquíferos. O volume máximo de estocagem é condizente com uma ESGN de porte médio, o que torna o exercício muito próximo da realidade. Nesse caso a ESGN estaria flexibilizando o uso de gasodutos e garantido uma operação adequada e segura das termelétricas, onde ambas (termelétricas e ESGNs) teriam um mercado mais bem definido

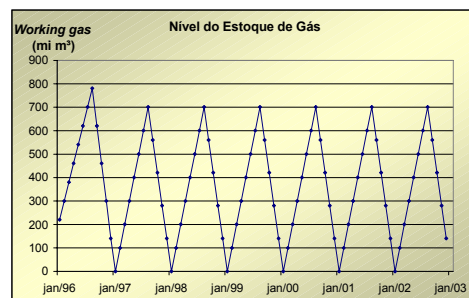


Figura 3 – Nível de *working gas* de uma ESGN operando num sistema sazonal regular 5/7.

4.2. Viabilidade Econômica

Para testar a viabilidade econômica de uma estocagem operando sazonalmente com termelétricas foram simulados fluxos de caixa e calculadas as possíveis Taxa Interna de Retorno (TIR) e Valor Presente Líquido (VPL) para um horizonte de vinte anos. Em termos de custos, foram considerados valores médios internacionais (tanto para o investimento quanto para a operação), e a fonte de receita utilizada foi a partir da alteração dos contratos *Take or Pay* (TOP) e *Ship or Pay* (SOP). Este horizonte de tempo é justificado pelo longo tempo despendido para se projetar, construir e começar a operar uma ESGN em aquífero. Outra premissa adotada foi o valor de 5% para a taxa mínima de atratividade, uma vez que os valores considerados foram em US\$.

Os valores médios internacionais para custos de investimento são da ordem de US\$ 0,30 por m³ de *working gas* da futura instalação (International Gas Union, 2000). São distribuídos em exploração (15%), construção de poços (30%), compra de equipamentos (25%) e formação do *cushion gas* (30%). Os custos de operação, bem menos representativos que os custos de investimento, incluem: manutenção de equipamentos, energia (especialmente para os compressores), mão de obra, renovação de licenças e seguros, tratamento da água, aquecimento do gás, produtos de consumo, etc. Devido ao grande número de incertezas em relação a tais custos no Brasil, afinal nunca foi desenvolvido um projeto desta natureza no país, adotou-se como custo de operação uma média internacional de 0,015 US\$ por m³ de GN que seja injetado na ESGN ao longo do tempo.

O contrato TOP é o contrato firmado entre o produtor de GN (“dono da molécula”) e o operador da termelétrica. Hoje este contrato normalmente equivale a 70% da capacidade máxima de operação da termelétrica. Já o contrato SOP é o contrato firmado entre a termelétrica e o proprietário do gasoduto (“transportador da molécula”),

representando uma espécie de aluguel de uma parte do gasoduto. Atualmente este valor equivale, para a maioria dos casos, a 100% da capacidade máxima de operação da termelétrica. Vale lembrar que no esquema de demanda sazonal regular torna-se possível quantificar a demanda anual, e ao contrário do que ocorre hoje, encomendar exatamente o volume necessário de combustível, reduzindo o contrato TOP. A ESGN teria a função de absorver a variação da demanda. Com essa uniformidade no volume encomendado, o contrato SOP também poderia ter seu valor reduzido. Assim, para o sistema de funcionamento adotado (termelétrica operando durante 5 meses), contratos TOP e SOP atualmente da ordem de 70 e 100%, respectivamente, poderiam ser reduzidos até valores próximos a 42%, em um cenário ideal.

Na Figura 4 estão representados os gráficos de VPL e TIR, cada um com duas escalas diferentes de utilização, “visão agregada” e “visão individual”. Na agregada os valores indicados do volume da estocagem bem como os valores de demanda energética são para abastecer diversas termelétricas. No caso individual, tem-se o volume de GN e a demanda energética para valores comuns de uma ou poucas termelétricas.

Os resultados das simulações indicam Taxa Interna de Retorno (TIR) de até 12 % com estoque e contratos ideais, e Valor Presente Líquido (VPL) elevado, que se torna mais atrativo quando a demanda é maior. Pode-se observar que os maiores valores obtidos para a TIR são aqueles nos quais o tamanho da ESGN (volume de gás ideal) corresponde exatamente à quantidade demandada pelas termelétricas. Todos os cenários nos quais o sítio geológico escolhido possui capacidade de estocagem semelhante ao estoque ideal apresentaram valores positivos e similares de TIR, uma vez que esta taxa depende do retorno que a ESGN proporciona ao longo dos anos e, conseqüentemente, do nível de utilização do volume de *working gas*.

Os maiores valores para o VPL são obtidos nos cenários onde a ESGN atende a um grande valor de demanda ou maior capacidade térmica, e também sem excesso de volume (tamanho ideal para atender à demanda). Esse parâmetro de análise é importante pois a variação de um por cento na TIR pode acarretar variações acentuadas e distintas no VPL, dado o investimento inicial. Isso demonstra claramente a importância de se realizar estudos de demanda detalhados antes de se investir em uma ESGN. Claro que prever demandas futuras é sempre um exercício incerto, mas elaborando cenários distintos e bem definidos pode-se diminuir os erros de previsão.

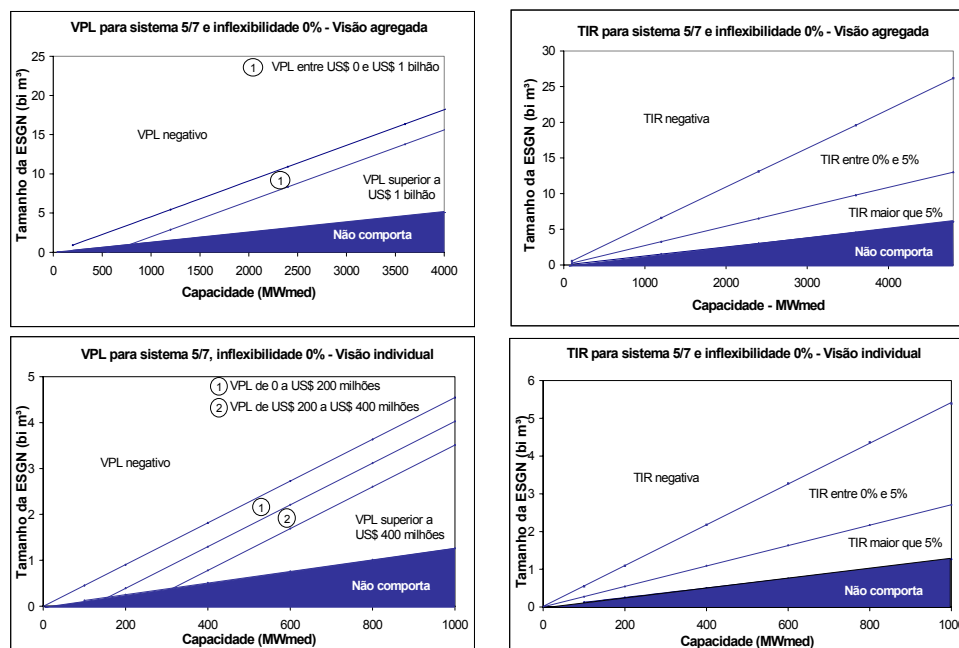


Figura 4. Gráficos de Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno para investimentos em ESGN.

5. Conclusões

Embora sejam necessários estudos mais aprofundados para se avançar nas discussões sobre o tema, este trabalho mostra que as termelétricas, quando associadas com ESGNs, podem se tornar mais eficientes do ponto de vista econômico e operacional. A maior inserção das termelétricas na matriz energética brasileira tem potencial para elevar ou controlar os níveis dos reservatórios das hidrelétricas, exercendo impacto positivo no sistema elétrico interligado do país. E as ESGNs, por sua vez, podem garantir às termelétricas o fornecimento de GN e a competitividade no mercado. Ao mesmo tempo abrem a possibilidade de renegociação e redução dos contratos TOP e SOP, criando oportunidades reais de lucro para investidores privados e proprietários de termelétricas, tornando este tipo de geração mais competitiva e as termelétricas mais atrativas, tanto para o investidor quanto para o sistema elétrico brasileiro.

No médio e longo prazo, um conjunto de ESGNs pode atuar como estoque de segurança, garantindo o sistema contra riscos de interrupções no fornecimento de GN e energia, principalmente quando considerada as relações

bilaterais entre países, uma vez que a tendência é o Brasil continuar a importar GN. Soma-se a isso manutenções, eventuais problemas técnicos ou acidentes que necessitem de interrupções no fornecimento de GN.

Por outro lado, o uso da estocagem e a otimização do sistema termelétrico deverão contribuir para incentivar o mercado de GN, beneficiando também os produtores e transportadores da molécula. Como demonstrado nas simulações, o Valor Presente Líquido (VPL) para investimentos em ESGN se torna mais atrativo quando a demanda é maior, ou seja, quanto maior a capacidade térmica para ser atendida pelas ESGNs. Diante desse quadro, se por um lado as ESGNs podem auxiliar o mercado de GN a crescer, por outro, essas também serão beneficiadas com esse crescimento.

O interesse nos investimentos em ESGN deverá surgir juntamente com o aumento da demanda de GN projetada para a próxima década, contribuindo para acelerar o crescimento do mercado e adiantar discussões sobre a regulamentação em torno desse assunto, levando o governo a rever sua política em relação à importação, exportação e renegociação de contratos de GN (principalmente o referente ao Gasbol). Projeta-se em longo prazo um mercado de GN mais desenvolvido, com infra-estrutura montada muito maior que a atual e também com uma diversidade maior de *players*, além de legislação e regulamentação estabelecida. Neste cenário, proprietários de ESGNs poderão auferir receitas junto a diversos segmentos de consumo além das termelétricas. Neste caso, a ESGN pode servir como suporte ao desenvolvimento do mercado de GN como um todo, como ocorreu nos mercados europeu e americano. O investimento em ESGN também pode incentivar pesquisas tecnológicas na área, tanto da prospecção e busca de novas fontes quanto de técnicas de estocagem, contribuindo assim para o desenvolvimento do setor no Brasil.

Ressalta-se que a existência de estruturas geológicas com profundidades, tamanho, geometria e capacidades variáveis de estocagem, permite a busca de reservatórios adequados para diferentes demandas termelétricas, e até mesmo a construção de uma ESGN em estapas, iniciando-se com volumes necessários a uma determinada demanda, e ampliando gradativamente sua capacidade de acordo com as projeções de demandas futuras. Desta forma, o investimento inicial é menor, mesmo se tratando de um volume considerável de *working gas*, e a possibilidade de retornos a curto e médio prazo torna-se maior. Por tratar-se de um tema complexo e pouco desenvolvido no Brasil, algumas premissas, como a demanda sazonal regular e custos médios internacionais, foram adotadas na análise econômica aqui apresentada. Dessa forma, os resultados devem ser considerados preliminares e apenas indicativos da viabilidade da ESGN. Estudos mais aprofundados precisam ser realizados para que se possa atingir o nível de conhecimento necessário para a implantação de armazenamentos subterrâneos de gás natural em nosso país.

Por fim, cabe relembrar que ESGNs estão presentes na grande maioria dos países onde o GN é representativo na matriz energética, e são projetos de longo prazo. Nesse sentido, se o Brasil pretende aumentar a participação do GN em sua matriz energética, são necessários esforços na capacitação em tecnologias relacionadas à estocagem, e ao mesmo tempo, na regulamentação governamental que considere, e até incentive, projetos dessa natureza.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, concedido através do Programa Anual de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor Elétrico Brasileiro.

7. Referências

- ARTUR, P. C. & SOARES, P. C. “Paleoestruturas e petróleo na Bacia do Paraná, Brasil”, *Revista Brasileira de Geociências*, vol. 32, pp. 639-648, Dez. 2002.
- CEDIGAZ - Centre International d'Information sur le Gaz Naturel et tous Hydrocarbures Gazeux. “*Underground gas storage in the world: a new era of expansion*”. 225 p., 1995.
- INTERNATIONAL GAS UNION. “Improving the performance of existing underground gas storage facilities”. In: *21st World Gas Conference, Nice, June 2000*. A report of the Study Group 1.1 of the WOC1 of the International Gas Union.
- KATZ, D. L. & LEE, R. L. *Natural Gas Engineering: Production and Storage*, McGraw-Hill Publ. Chemical Engineering Series. 1990.
- ROSTIROLLA, S. P.; ASSINE, M. L.; FERNANDES, L. A.; ARTHUR, P. C. “Reativação de paleolineamentos durante a evolução da Bacia do Paraná – O exemplo do Alto Estrutural de Quatiguá”, *Revista Brasileira de Geociências*, vol. 30, pp. 639-648, Dez. 2000.
- SOARES, P. C. “*Geometria, deformação e tensões em bacias intracratônicas: Aplicação às bacias do Paraná e Médio Amazonas*” Tese (Livre Docência), Inst. Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista – UNESP, 1978.
- SOARES, P. C. *Tectônica Sin-sedimentar cíclica na Bacia do Paraná: controles*. 148 p. Tese (Titular), Dep. de Geologia, Universidade Federal do Paraná – UFPR, 1992.
- ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. DE J.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; APPI, V. T.; ZANOTTO, O. A. Bacia do Paraná. In: *Origem e Evolução de Bacias Sedimentares*, G. P. Raja Gabaglia e E. J. Milani, Eds. Rio de Janeiro, Petrobras, pp. 135-168, 1990.