

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

TEORIA DOS JOGOS: UMA TÉCNICA DE AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO NO SETOR DO GÁS NATURAL

Emílio José Rocha Coutinho¹, Bruno de Athayde Prata², João Bosco Furtado Arruda³, Ernesto Ferreira Nobre Júnior⁴

¹ Universidade Federal do Ceará - UFC

Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes – PETRAN

Rua Paula Ney 599 Ap 1101 Bairro: Aldeota CEP: 60140-200 Fortaleza – CE – Brasil

e-mail: emilio@det.ufc.br

² Universidade Federal do Ceará - UFC

Núcleo de Pesquisa em Logística, Transporte e Desenvolvimento - NUPELTD

Rua Carlos Ribeiro, 572 Ap 303 Bairro: Fátima CEP: 60040-420 Fortaleza – CE – Brasil

e-mail: bruno@nupeltd.ufc.br

³ Universidade Federal do Ceará - UFC

Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes - PETRAN

Campus do Pici - Bloco 703 - Altos - CEP 60455-760 Fortaleza – CE – Brasil

e-mail: barruda@nupeltd.ufc.br

⁴ Universidade Federal do Ceará - UFC

Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes - PETRAN

Campus do Pici - Bloco 703 - Altos - CEP 60455-760 Fortaleza – CE – Brasil

e-mail: nobre@nupeltd.ufc.br

Resumo – O gás natural é uma fonte energética de inúmeros usos, sendo amplamente utilizado em diversos países tais como Argentina, Itália, EUA e Brasil. Uma das aplicações do combustível em questão é no setor veicular, onde o gás natural veicular (GNV) representa economia no consumo, operação e manutenção do veículo, contribuindo também para a redução da emissão de poluentes. Um dos fatores de impedância do uso de gás natural é a restrição na disponibilidade de postos de abastecimento de combustível, pois a restrição de postos que ofertam o GNV reprime uma demanda potencial, sendo o conflito de interesses entre o fornecedor e o distribuidor do combustível supracitado um empecilho para a expansão da sua distribuição. Modelos baseados na Teoria dos Jogos podem analisar o conflito de interesses entre diversos atores, buscando uma solução que equilibre o sistema. O presente trabalho visa consolidar uma revisão bibliográfica sobre a Teoria dos Jogos, aplicando o modelo de jogo competitivo entre dois jogadores em uma situação de conflito entre fornecedor e distribuidor de GNV na Região Metropolitana de Fortaleza.

Palavras-Chave: Teoria dos Jogos; Gás Natural; Tomada de Decisão.

Abstract – The natural gas is an energy source of countless uses, being used thoroughly at several countries like Argentina, Italy, USA and Brazil. One of the applications of the fuel in subject is in the transport sector, where the natural gas vehicle (NGV) represents economy in the consumption, operation and maintenance of the vehicle, also contributing to the reduction of the emission of pollutant. One of the factors of impedance of the use of natural gas is the subject of the positions of provisioning of fuel, because the restriction of positions that present NGV represses a potential demand, being the conflict of interests between the supplier and the distributor a difficulty for the expansion of distribution. Models based on the Theory of the Games can analyze the conflict of interests among several actors, looking for a solution to balance the system. The present work seeks to consolidate a bibliographical revision done on

the Theory of the Games, applying the model of competitive game among two players in a conflict situation between supplier and distributor of NGV in the Metropolitan Area of Fortaleza.

Keywords: Game Theory; Natural Gas; Decision Making.

1. Introdução

Com o advento da Revolução Industrial, marco da história da humanidade ocorrido no século XVIII, o homem demandou energia em quantidade e qualidade jamais requeridas até então. O modelo energético adotado pela elite dominante da época foi a energia baseada em combustíveis fósseis, escolha errônea devido a insustentabilidade desta opção. Na atual conjuntura, dada a expansão industrial e populacional ocorrida em diversos países, devem ser buscados novos elementos para composição da matriz energética mundial, além dos usuais derivados de petróleo, de modo a garantir a continuidade das atividades sociais e econômicas dos indivíduos.

Uma alternativa para suprir a demanda energética industrial, residencial e veicular é o gás natural. Este combustível pode ser definido como uma mistura de hidrocarbonetos leves que, sendo constituída em sua maior parte de metano, permanece no estado gasoso à temperatura ambiente e pressão atmosférica (PRAÇA, 2003). Ressalta-se ainda que o gás natural é o combustível fóssil mais limpo e mais seguro, com um custo de produção baixo, tendo reservas cientificamente comprovadas com capacidade de suprir o consumo mundial por mais de seis décadas.

O gás natural pode ser aplicado em diversos segmentos das atividades que requerem energia, como explicitado a seguir:

- **Setor industrial:** o gás natural pode ser aplicado em indústrias com grandes vantagens econômicas e acréscimo da qualidade do produto final, como por exemplo, na indústria metalúrgica e alimentícia.
- **Setor de transportes:** de acordo com (APEREC, 2000), o gás natural tem seu uso difundido no setor de transportes devido à suas características ambientalmente benignas. O combustível supracitado também apresenta vantagens de natureza técnica, como por exemplo, redução do custo operacional dos veículos.
- **Setor residencial:** eletrodomésticos, chuveiros e aparelhos ar-condicionado podem ser movidos a gás natural, apresentando vantagens econômicas frente a diversos equipamentos elétricos convencionais.
- **Setor comercial:** analogamente ao uso residencial, podemos utilizar o gás natural em diversos equipamentos como fornos e aparelhos de climatização, obtendo grandes vantagens.
- **Geração e cogeração de eletricidade:** o gás natural pode ser utilizado em centrais de geração de energia elétrica, sendo uma nova opção de geração de energia ao lado de hidroelétricas, termelétricas e usinas nucleares.

Contudo, um dos grandes diferenciais do gás natural em comparação a outras fontes de energia fósseis é o seu benefício ambiental. Emissões de gás natural contém níveis significativamente mais baixos de dióxido de carbono, hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio se comparadas às emissões de outros combustíveis fósseis, portanto a melhoria da qualidade após a combustão é possível adotando-se o gás natural (APEREC, 2000).

2. A distribuição de Gás Natural em Áreas Urbanas

Segundo PRATA e ARRUDA (2004), o sistema de distribuição de gás natural em áreas urbanas é constituído por quatro tomadores de decisão distintos: o fornecedor, o distribuidor, o usuário e o não-usuário.



Figura 1 : O conflito de interesses na distribuição de gás natural em áreas urbanas.

O fornecedor trabalha com grandes volumes de gás, repassando-o a distribuidores ou varejistas, que comercializarão o combustível diretamente com o consumidor final. Nesse processo de venda, indivíduos que não são usuários do produto supracitado também são influenciados.

É importante que qualquer medida relativa à distribuição de gás natural em áreas urbanas considere a participação deste quatro atores, pois a implantação de quaisquer elementos de infra-estrutura, como as dutovias para o transporte de gás, deve auxiliar processo de desenvolvimento do meio urbano de forma integrada, melhorando a qualidade de vida dos cidadãos e promovendo equidade social.

Conforme (PRAÇA, 2003), os consumidores residenciais e comerciais de gás natural, incluindo *shopping centers* e condomínios, são responsáveis pela aquisição do produto em pequenas quantidades, de modo a alimentar

aparelhos domiciliares como fornos, fogões, chuveiros, refrigeradores e pequenas centrais de cogeração. Devido à dispersão destes usuários no meio urbano, a implantação de dutovias para suprir apenas a este segmento da demanda não se torna viável economicamente.

Embora em menor número, postos de abastecimento de combustível, indústrias e termelétricas demandam um volume de gás bem superior aos usuários residenciais e comerciais, justificando o abastecimento direto via ramal dutoviário. Os usuários residenciais e comerciais no entorno das dutovias destinadas aos usuários de grande porte também podem ser beneficiados pelo fornecimento direto.

Ramais dutoviários são elementos de infra-estrutura bastante onerosos, devendo ter sua alocação planejada de modo a minimizar os custos de oportunidade envolvidos no processo de distribuição de gás natural. Desta forma, técnicas de subsídio à tomada de decisão são de suma importância para uma implantação racional de redes de distribuição do combustível em questão, contribuindo também para o aceleramento do reembolso dos investimentos empregados.

O preço do quilômetro de dutovia varia muito devido às inúmeras variáveis envolvidas no processo de implantação deste tipo de infra-estrutura, como por exemplo, a satisfação de condições de pressão, o tipo de pavimento a ser quebrado e reformado para o assentamento das tubulações, o desvio de possíveis barreiras naturais e a desapropriação e demolição de edificações.

3. Teoria dos Jogos

A Teoria dos Jogos é, segundo HARSANYI e SELTEN (1988) *apud* HANEKE e SADDI (1995), um método para analisar situações de conflito e de cooperação que dependem do comportamento estratégico, onde as ações dos jogadores são parcialmente dependentes do que os outros jogadores poderão fazer.

Teoria dos Jogos é a ciência e técnica da tomada de decisões em situações de interdependência. Ao contrário de uma decisão unilateral, aqui se trata de decidir levando-se em conta decisões de outro(s), envolvido(s) num mesmo problema de decisão.

A Teoria dos Jogos abrange jogos com dois ou mais jogadores, cooperativos ou não. Entre os tipos de jogos possíveis estão os recreativos, tais como pôquer, monopólio e jogo da velha, os jogos de tabuleiro, como xadrez, damas, gamão, e os problemas econômicos, políticos e sociológicos. Os jogos podem ser representados de forma extensiva, através de uma árvore, ou em forma normal, usando matrizes de *payoff* (pagamento, recompensa). Alguns jogos possuem informação perfeita, ou seja, a cada jogada todos os jogadores têm conhecimento das jogadas anteriores (ex.: jogo da velha), enquanto que outros apresentam informação imperfeita; num jogo como pôquer, por exemplo, um jogador não sabe se o outro está blefando.

Um jogo é um modelo teórico de conflitos de interesse, e nele estão definidos os possíveis resultados e decisões para cada jogador. Um indivíduo participante de um jogo deve escolher uma entre várias alternativas, de acordo com sua preferência. Entretanto, como a escolha também depende dos outros jogadores, que em geral possuem outras preferências (caracterizando conflito de interesse), é preciso considerar todas as preferências para obter o melhor resultado possível.

Um jogo é uma situação entre N pessoas ou grupos, chamados jogadores, que é conduzido por um conjunto prévio de regras com conhecida recompensa. As regras definem atividades elementares, ou lances, do jogo. Jogadores diferentes podem realizar lances diferentes, mas cada um conhece os lances realizados pelos outros.

O resultado de um jogo é obtido a partir de uma seqüência de tomadas de decisão, ou seja, a cada jogada (decisão) o jogador deve escolher uma estratégia (entre as várias disponíveis, escolher uma é tomar uma decisão estratégica), que ele considera a melhor para atingir seus objetivos, considerando também, e principalmente, a estratégia escolhida pelo(s) seu(s) oponente(s). No entanto, a elaboração de estratégias ocorre com base em informações sobre as ações do(s) oponente(s), de acordo com os objetivos procurados por todos os jogadores.

Segundo COSTA (2000), as dificuldades práticas da Teoria dos Jogos são:

- Especificar, precisamente, os conjuntos de estratégias disponíveis para todos os jogadores, devido à dinâmica microeconômica das inovações tecnológicas e financeiras e aos choques exógenos que alteram o contexto macroeconômico, durante o processo do jogo.
- Introduzir o tempo para verificar a resultante das diversas decisões, fato que tende a causar dificuldades práticas insuperáveis, pois as estratégias possíveis se multiplicam.

4. Aplicação da teoria dos jogos no setor de distribuição de gás natural

Na análise do conflito envolvendo os atores descritos no item 2, faz-se necessária a determinação das funções de utilidade que representam os interesses de cada tomador de decisão. Tal condição é um fator de impedância para utilização deste modelo, logo podem ser buscados outros métodos que visem o apoio da tomada de decisão no setor do gás natural.

Uma alternativa nesse sentido é estudar os conflitos de interesses entre os atores supracitados agrupando-os em duplas, pois os jogos entre duas participantes são de solução mais simples do que os jogos entre n-pessoas e ainda assim podem fornecer resultados representativos.

Neste trabalho será analisado o conflito entre os atores; fornecedor e distribuidor, pois esta situação de disputa é um fator determinante na alocação de postos de distribuição de GNV, sendo um empecilho para a expansão da distribuição deste combustível. É importante ressaltar que os retornos para estes jogadores são de mensuração bem mais simples do que os retornos para os atores usuário e não-usuário.

O fornecedor é o ator que representa os interesses de uma companhia que oferta o gás natural e o distribuidor é o jogador que representa os interesses de todos os postos de abastecimento de combustível de uma determinada região, podendo ser considerado como a associação dos varejistas do local. Nos Quadros 1 e 2 são apresentadas as alternativas para cada um destes dois atores.

Quadro 1: Interesses do ator fornecedor.

Pior Alternativa	<ul style="list-style-type: none"> - A quantidade vendida de GNV é nula. - A tarifa de fornecimento do GNV é mínima, ou seja, a receita total é igual ao custo total. - Todos os postos de abastecimento de combustível recebem a ramificação da dutovia, mesmo aqueles que não possuam um demanda mínima que justifique essa ramificação. - O projeto de fornecimento de GNV não traz os benefícios esperados e não há o reembolso do investimento empregado.
Melhor Alternativa	<ul style="list-style-type: none"> - A quantidade de GNV vendida é máxima, ou seja, a demanda potencial da região está sendo plenamente atingida. - A tarifa de fornecimento é máxima, ou seja, esta se aproxima ao máximo da tarifa dos combustíveis concorrentes (gasolina e álcool, por exemplo). - O custo de ramificação e operação de dutovias é mínimo, ou seja, a malha dutoviária irá se estender apenas aos postos de abastecimento de combustível que possuem uma demanda mínima que justifique tal ônus . - O tempo de <i>payback</i> é mínimo.

Quadro 2: Interesses do ator distribuidor.

Pior Alternativa	<ul style="list-style-type: none"> - A quantidade vendida de GNV é nula. - A tarifa de distribuição do GNV é mínima, ou seja, tem o mesmo valor da tarifa de fornecimento. - O custo de instalação dos equipamentos necessários para a oferta do GNV é muito alto. - O projeto de oferta de GNV não traz os benefícios esperados, não havendo o reembolso do investimento empregado.
Melhor Alternativa	<ul style="list-style-type: none"> - A quantidade de GNV vendida é máxima, ou seja, a demanda potencial da região está sendo plenamente atingida. - A tarifa de distribuição é máxima, ou seja, esta se aproxima ao máximo da tarifa dos combustíveis concorrentes (gasolina e álcool, por exemplo). - O custo de instalação dos equipamentos necessários para a oferta do GNV é mínimo. - O tempo de reembolso é mínimo.

Será estudado um jogo hipotético entre distribuidor e fornecedor, tentando mostrar o conflito de interesses entre um posto de abastecimento de combustível e a CEGAS, tendo em vista que o posto quer vender gás natural. Porém, para que isso ocorra, a rede de gás que está situada a 2km do posto, precisa chegar até o mesmo.

A CEGAS pode agir de duas maneiras:

- Estratégia A → Bancar todo o custo da obra.
- Estratégia B → Sugerir uma parceria.

O Posto de Gasolina pode agir de outras duas maneiras;

- Estratégia I → Não bancar nenhuma parcela;
- Estratégia II → Bancar uma parcela no intuito de conseguir desconto na tarifa.

No intuito de construir a matriz de recompensas deste jogo, o pagamento dos jogadores será considerado o lucro de cada um. Este lucro será estimado levando-se em conta, no caso da CEGÁS, somente a diferença entre o valor de venda do gás natural e o custo de construção do gasoduto. Já no caso do posto de gasolina será levando em conta a diferença entre a quantidade vendida de gás e a quantidade comprada. Em algumas das estratégias deve-se considerar a parcela do valor do gasoduto a ser paga pelo posto. O custo do gasoduto será diluído ao longo do ano.

Para tentar estimar o volume de gás natural vendido em um posto de gasolina, foram coletados dados no *site* da CEGAS, e foi constatado que o volume de venda para Gás Natural Veicular (GNV) é da ordem de 40 milhões m³/ano (CEGAS, 2003). Considerando que o Ceará possui 43 postos com GNV, todos localizados na Região Metropolitana de Fortaleza, estimamos através da média um consumo anual de 947.651m³/ano.

Tabela 1: Estimativa do volume consumido no posto de gasolina

Volume consumido em 2002 (Milhões m ³)	141
Porcentagem de consumo GNV	28,9%
Volume consumido por GNV (Milhões de m ³)	40,749
Número de Postos	43
Volume estimado de consumo por Posto	947651

Levando em consideração o volume calculado anteriormente, o custo do quilômetro de gasoduto, estimado em R\$25.000/Km, o valor de venda por parte da CEGAS que é de R\$0,6505/m³ (tarifa de fornecimento do GNV no estado do Ceará relativo ao mês de agosto de 2003) e o valor de venda por parte do posto que é de R\$1,146/m³, foram definidos os seguintes as seguintes opções;

- A I – CEGAS arca com todo o custo do gasoduto e o posto compra o Gás Natural pelo seu preço normal;
- A II – CEGAS quer arcar com todo o custo do gasoduto, mas o posto negocia pagando 25% do custo e recebendo um desconto de 0,5% na tarifa de compra do gás natural;
- B I – CEGAS pede contribuição, porém o posto não contribui. Por conta disso a CEGAS taxa este posto com 1% de aumento no preço da tarifa;
- B II – CEGAS pede contribuição, o posto contribui com 50% do valor do gasoduto e recebe desconto de 1% na tarifa de compra.

Tabela 2: Valores comuns aos cálculos dos lucros

Comprimento da Dutovia (Km)	2
Custo da Dutovia (R\$/Km)	25000
Volume de Gás (m ³)	947651
Tarifa de Fornecimento (R\$/m ³)	0,6505
Tarifa de Venda (R\$/m ³)	1,146

As tabelas de cálculo dos lucros destas opções encontram-se abaixo.

Tabela 3: Cálculo dos lucros das opções A I e B I

A I		B I	
CEGás		CEGás	
Receita	Desconto / Taxa	Receita	Desconto / Taxa
616447	0%	622612	1%
	Tarifa Real (R\$/m ³)		Tarifa Real (R\$/m ³)
Custo	0,6505	Custo	0,6570
50000	Parcela Dutovia CEGás	50000	Parcela Dutovia CEGás
	100%		100%
Lucro	566447	Lucro	572612
Distribuidora (Posto de Gasolina)		Distribuidora (Posto de Gasolina)	
Receita	Parcela Dutovia distribuidor	Receita	Parcela Dutovia distribuidor
1086008	0%	1086008	0%
Custo		Custo	
616447		622612	
Lucro	469561	Lucro	463397

Tabela 4: Cálculo dos lucros das opções A II e B II

A II		B II	
CEGás		CEGás	
Receita	Desconto / Taxa	Receita	Desconto / Taxa
613365	-0,5%	610283	-1%
	Tarifa Real (R\$/m ³)		Tarifa Real (R\$/m ³)
Custo	0,6472	Custo	0,6440
37500	Parcela Dutovia CEGás	25000	Parcela Dutovia CEGás
	75%		50%
Lucro	575865	Lucro	585283
Distribuidora (Posto de Gasolina)		Distribuidora (Posto de Gasolina)	
Receita	Parcela Dutovia distribuidor	Receita	Parcela Dutovia distribuidor
1086008	25%	1086008	50%
Custo		Custo	
625865		635283	
Lucro	460143	Lucro	450726

Diante dos resultados obtidos nas tabelas citadas anteriormente foi montada a matriz de recompensa para os dois jogadores. Os valores antes da vírgula são as recompensas da CEGAS e os depois são as recompensas do posto de gasolina.

Tabela 5: Matriz de recompensas do jogo em estudo

		Posto de Gasolina	
		I	II
Cegas	A	(566447,469561)	(575865,460143)
	B	(572612,463397)	(585283,450726)

Verifica-se que este é um jogo de soma constante com $C = 1.036.008$. O problema foi modelado as luzes da programação linear e foi executado no software LINDO v6.1. O resultado obtido de valor de jogo para a CEGÁS foi 572.612, o que significa que a estratégia ótima do jogo é B I, ou seja, na situação analisada, a melhor estratégia para os atores em disputa seria que o distribuidor não arcasse com nenhum custo de implantação da dutovia, contudo seria taxado via acréscimo de tarifa pelo fornecedor.

5. Conclusões

Conclui-se que o uso de técnicas de auxílio à tomada de decisão é tão mais imprescindível quanto mais se torna complexo o problema em análise. Para que o tomador de decisão consiga analisar o problema de forma sistêmica torna-se necessário o uso de métodos e ferramentas que tornem este trabalho mais simples e objetivo.

A Pesquisa Operacional consegue com muita eficiência resolver problemas de otimização onde existe somente um ator envolvido, ou onde não existe conflito de interesses. A Teoria dos Jogos supre esta lacuna da pesquisa operacional, pois ela é uma técnica adequada para analisar e equilibrar um conflito de interesses.

Pode-se verificar que o uso da Teoria dos Jogos não é muito simples, visto que na maioria dos problemas reais, muitos são os atores envolvidos e muitas são as variáveis que influenciam no processo. O estudo analisado neste trabalho vem colaborar com os esforços de uso de uma ferramenta de análise de conflito de interesses em projetos de transportes. A experiência adquirida deve servir com catalisador da disseminação do uso desta técnica.

6. Referências

- APEREC (2000) Natural Gas Pipeline Development in Southeast Asia. Tóquio, Japão.
- CEGAS (2003) Companhia de Gás do Ceará. <www.cegas.com.br> Acesso em: 13/07/2003.
- COSTA, F.N. (2000) Economia em 10 lições. Editora Makron Books, São Paulo.
- HANEKE, U e V. SADDI (1995) Prêmio Nobel de Economia de 1994: Contribuições de Nash, Harsanyi e Selten à Teoria dos Jogos. Revista de *Economia Política*, vol. 15, nº 1, Janeiro-Março/1995.
- PRAÇA, E. R. (2003), Distribuição de gás natural no Brasil: um enfoque crítico e de minimização de custos. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil.
- PRATA, B, A. e ARRUDA, J.B.F. (2004) Análise do Conflito de Interesses na Distribuição de Gás Natural em Áreas Urbanas: Uma Aplicação da Teoria dos Jogos. Rio Oil & Gas Expo and Conference 2004, Rio de Janeiro, Brasil.