



**GRUPO II
PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS (GPT)**

**COMPARAÇÃO ECONÔMICA ENTRE O TRANSPORTE DE GÁS E LINHA DE
TRANSMISSÃO**

Eliane Aparecida Faria Amaral Fadigas¹ Lineu Belico dos Reis
USP

Dorel Soares Ramos
CESP/USP

RESUMO

O artigo apresenta os resultados de um estudo voltado à comparação econômica entre o transporte de gás natural via gasoduto e o transporte de energia elétrica através de linhas de transmissão em corrente contínua, para suprimento de energia elétrica aos centros de carga através de centrais termelétricas.

A comparação é efetuada tendo como referência o custo da energia elétrica entregue ao centro de carga, em função da distância da linha ou gasoduto. Uma análise de sensibilidade é efetuada com relação a potência entregue ao centro de carga e, aos preços do gás natural.

PALAVRAS-CHAVE

Termelétrica, Gasoduto, Linhas de transmissão

1.0 INTRODUÇÃO

A geração termelétrica, se configura, no contexto atual do setor elétrico brasileiro, como numa opção atraente para diminuir o risco de déficit de energia elétrica esperado a curto prazo.

Neste contexto, o gás natural, pela perspectiva de crescimento de sua oferta, seja pelo aumento da produção interna e/ou importação, pela sua melhor adequação ambiental comparativamente às demais alternativas viáveis a curto prazo e pela facilidade de transporte, constitui-se num combustível atraente para ser utilizado em termelétricas principalmente na configuração de ciclo combinado.

A perspectiva do Brasil adquirir gás natural, não apenas da Bolívia como também de outros países da América do Sul, e a possibilidade de grande parte deste gás se destinar à geração elétrica, motivaram a realização do estudo aqui apresentado. A questão a ser pesquisada é: Se o gás se destinar apenas à geração de eletricidade, a construção de um gasoduto para abastecer a usina localizada no centro de carga seria a alternativa mais econômica? Não seria mais econômico um sistema composto pela usina localizada próxima à fonte de gás e uma linha de transmissão para levar a energia elétrica até o centro de carga?

Este artigo apresenta os resultados de uma comparação econômica entre estes dois tipos de sistemas para aplicações onde o consumo de gás se destine apenas ou na sua maior parte à geração de eletricidade.

**2.0 CONFIGURAÇÃO DOS SISTEMAS E
HIPÓTESES ASSUMIDAS**

Na comparação econômica entre as alternativas, tendo em vista a localização das possíveis fontes de gás natural e os grandes centros consumidores de energia elétrica no Brasil, foram consideradas nas análises distâncias entre 1000 e 5000 km. As potências analisadas variaram entre 1000 e 5000 MW, montantes justificáveis para transmissão a longas distâncias (observa-se que neste tipo de problema, as distâncias reais variam de fato nesta gama, citando-se por exemplo o caso do gasoduto Brasil / Bolívia, que terá comprimento total na faixa dos 3000 km).

¹ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - EPUSP
Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas
Av. Luciano Gualberto, travessa 3, nº 158 - Cidade Universitária, Butantã - São Paulo, SP
CEP: 05308-900 Tel/Fax: (011) 818-5349 e-mail: eliane@pea.usp.br

Dado o caráter exploratório desta comparação, foi assumido, a priori, que a tecnologia a ser utilizada para a transmissão seria a de Corrente Contínua. Ressalta-se aqui que, numa análise mais específica de um dado projeto, principalmente na faixa das menores distâncias e potências consideradas, poderiam ser também avaliadas alternativas em corrente alternada, o que não estava no escopo deste estudo.

2.1 Hipóteses e dados da usina termelétrica

Para a termelétrica a gás natural, considera-se o uso da configuração em ciclo combinado com um fator de capacidade de 50%, ou seja, operação à plena carga em 50% do tempo. A tabela 1 apresenta os parâmetros técnicos e econômicos utilizados no cálculo do custo unitário da usina.

Tabela 1 – DADOS UTILIZADOS NO CÁLCULO DO CUSTO DA PLANTA DE GERAÇÃO

Dados da usina			
Descrição	Capacidade Instalada (MW)		
Módulo (MW)	1000	1500	2000...5000
Disponibilidade (%)	90		
Rendimento (%)	54		
Custo de Instal. (US\$/kW)	545		
C. de O&M variável (US\$/MWh)	1.05		
C. de O&M fixo (US\$/kWano)	9,31	8,52	7,84
Vida útil (anos)	25		
Fator C.Internação ¹	1,31		
Dados do Combustível – Gás natural			
Descrição	Valor		
P. Calorífico (kJ/Nm ³)	37548		
P. Calorífico (kcal/Nm ³)	8968		
Preço do gás ²	US\$/Mbtu	US\$/Nm ³	
Preço 1	0,5	0,01865672	
Preço 2	1,0	0,03731343	
Preço 3	1,5	0,05597015	

Nota 1- O fator para custo de internação refere-se as taxas e impostos incidentes na composição do custo de investimento.

Nota 2 - O preço do gás natural refere-se ao valor na boca do poço.

As equações utilizadas no custo da usina são:

$$CI = \frac{FCM \times C_{Inv} \times FRC \times FI}{8,76 \times FCE}$$

$$CO = \frac{COMF}{8,76 \times FCE} + COMV$$

$$CC = \frac{10^3 \times 859,845 \times C_c \times FCM}{PCI \times h \times FCE}$$

onde:

CI - custo unitário de investimento (US\$/MWh)

FCM - Fator de capacidade médio (%)

FRC - Fator de recuperação de capital

FCE - Disponibilidade da usina (%)

FI - Fator de custo de internação

CO - Custo unitário de manutenção (US\$/MWh)

COMF - Custo de O&M fixo (US\$/kWano)

COMV - Custo de O&M variável (US\$/MWh)

C_c - Preço do combustível (US\$/Nm³)

PCI - Poder Calorífico do gás natural (US\$/Nm³)

h - Rendimento da usina

2.2 Hipóteses e dados para o gasoduto

No dimensionamento e cálculo do custo unitário do gasoduto, utilizou-se uma equação originária dos custos de gasodutos implantados nos EUA. Estes custos incluem material, mão-de-obra, manutenção, operação e custo de passagem (preparação e manutenção do terreno). Não estão incluídos perdas de gás e pressão. A fórmula geral para o cálculo do custo total do gasoduto é dada por:

$$CT = k \times Q^{0,3752} \times L^{1,158}, \text{ onde}$$

Q = Vazão de gás natural (m³/dia)

L = comprimento do gasoduto

k = 331,491

A vazão diária de combustível é calculada pela seguinte equação:

$$Q = \frac{Eg \times 860}{PCI \times h \times 1000}, \text{ onde}$$

Eg = Energia gerada/dia (Wh)

O custo unitário do gasoduto (US\$/MWh) é dado pela seguinte equação:

$$C_{un} = \frac{CT}{P \times FCM \times 8760}, \text{ onde}$$

P = potência da usina (MW)

FCM = Fator de capacidade médio

2.3 Hipóteses e dados da linha de transmissão

Para o cálculo do custo da linha de transmissão, foram considerados valores obtidos de projetos e de concorrências/ofertas recentes. A extrapolação de

valores para as faixas totais de variação consideradas na análise, foi efetuada de forma bastante simples, para facilitar esta análise, cujo caráter é exploratório. Estudos específicos, obviamente, vão requerer aprofundamento e detalhamento destas questões. Assim, os seguintes dados de custos foram utilizados.

1. 02 Estações conversoras 600kV CC = 102.500,00 US\$/MW. Este custo se mantém fixo para a faixa de potência considerada 1000 - 5000 MW.
2. Linha de transmissão CC \pm 600kV, 1 bipolo. Para o cálculo do custo da LT, considerou-se que o bipolo tem capacidade para transportar até 2500 MW com um custo de 170.000,00 US\$/km. Para o transporte de potências entre 2500 - 5000 MW há a necessidade da construção de uma outra linha similar e o custo para transportar estes montantes passa a ser de 340.000,00 US\$/km.
3. Custo de manutenção. Considerou-se que este representa 1% do custo total da instalação.
4. Não foi considerado o custo de perdas.

3.0 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A figura 1 apresenta as componentes do custo anual da energia entregue ao centro de carga (US\$/MWh) para ambas as alternativas “gasoduto e linha de transmissão” em função do comprimento dos mesmos (1000-5000km). O gráfico mostra também, a título de comparação, o custo anual da energia elétrica gerada pela usina, o qual foi considerado independente da sua localização. Uma análise de sensibilidade com relação ao preço do gás natural é realizada para se verificar o seu impacto no custo de geração.

Observando a figura 1, de acordo com as considerações feitas, pode-se apontar os seguintes resultados principais:

- Para as menores distâncias analisadas (\cong 1000 km), independente da potência da usina, o transporte de gás é mais barato que a transmissão de energia elétrica. À medida que a distância aumenta, a transmissão elétrica se mostra mais atraente, até onde a mesma pode ser efetuada por apenas uma linha, ou seja, 2500 MW neste estudo. Para potências maiores que estes 2500 MW, no estudo ilustradas por uma avaliação para 5000 MW, as distâncias na qual o gasoduto é mais atraente vão até cerca de 3000 km. Isto acontece basicamente devido a critérios de confiabilidade, ou seja, acima de uma determinada potência (neste caso - 2500 MW), há a necessidade de se implantar mais um bipolo, pois a transmissão de grandes volumes de

potência através de uma única linha, resultaria em consideráveis prejuízos aos consumidores quando ocorresse perda da mesma por contingências no sistema. A implantação desta linha adicional implica em um diferencial elevado nos custos desta alternativa com relação ao gasoduto.

A figura 2 mostra, para um preço médio do gás natural (1,0 US\$/MWh) e três diferentes alternativas (pequeno, médio e grande) para a distância, as componentes do custo da energia elétrica em função da potência transmitida ou entregue ao centro de carga. Os gráficos nos mostram mais claramente os resultados identificados na figura anterior.

A figura 3 mostra, para o preço médio do gás natural de 1,0 US\$/MWh, o custo total da energia entregue ao centro de carga para as duas alternativas : gasoduto e linha (ambos somados ao custo da usina)

Com relação ao custo da usina, a título de comparação, verifica-se que para pequenas distâncias, o custo da usina é bastante superior ao do transporte de energia. Esta diferença se reduz consideravelmente quando aumentam as distâncias consideradas, ou seja o custo do transporte de energia é mais elevado com relação ao custo de geração da mesma na barra de geração.

4.0 COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES FINAIS

Os resultados nos mostram que em grande parte dos casos em que os centros de carga do sistema elétrico se situam a mais de 1000 km da região produtora da gás (o que é bastante comum na prática), a transmissão de eletricidade por linhas em Corrente Contínua, com a usina localizada próxima à fonte de gás, se configura na alternativa mais econômica para o caso em que o gás seja utilizado apenas na geração elétrica. Porém, a transmissão elétrica, a medida que a distância aumenta, se mostra atraente até o esgotamento de sua capacidade de transporte. A partir daí, é necessário o acréscimo de mais um circuito, o que faz com que o gasoduto seja mais atraente para distâncias um pouco maiores (3000km neste caso). Para o gasoduto, neste estudo de caso, o aumento da potência da usina com consequente aumento do consumo de gás implica apenas no aumento da sua bitola, o que incorre em menores custos adicionais.

Devido ao caráter exploratório deste estudo, as análises foram efetuadas de uma forma simplificada, levando-se em conta algumas aproximações. Num

estudo de caso real, há a necessidade de um maior refinamento e tratamento das informações.

No caso em que o gasoduto deva ser construído de qualquer forma, visando o atendimento de um mercado de gás natural “*in natura*” e que, portanto, a utilização de parte de sua capacidade de transporte para abastecer termelétricas configura apenas um custo incremental, certamente a opção por geração junto aos campos de gás e construção de um sistema de transmissão fica prejudicada.

5.0 BIBLIOGRAFIA

- (1) FADIGAS, E.A.F.A. Identificação de locais e opções tecnológicas para implantação de termelétricas no sistema elétrico brasileiro: contribuição à metodologia e aplicação ao caso do gás natural. São Paulo, 1999. 283p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo.
- (2) CESP- COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO. Conceitos e critérios sobre a geração termelétrica a gás natural. São Paulo, 1992 (Relatório Técnico - RT/ERT/004/92)
- (3) Oil & Gas Journal . Pipeline Economics. Aug,1997.p-37-58.
- (4) CLERICI, A. ; LONGHI,A. Transport of gas or electricity transmission. In: VI SEPOPE – Seminário Internacional de Especialistas em Planejamento da Expansão e Operação Elétricas. Salvador, Bahia, 1998.
- (4) PRAÇA,W.L. CESP - Departamento de Planejamento Energético e Desenvolvimento de Negócios. Estudo da interligação com o sistema elétrico argentino. Relatório da 1ª Fase do Sub-Grupo de Transmissão. São Paulo, 1996.15p.

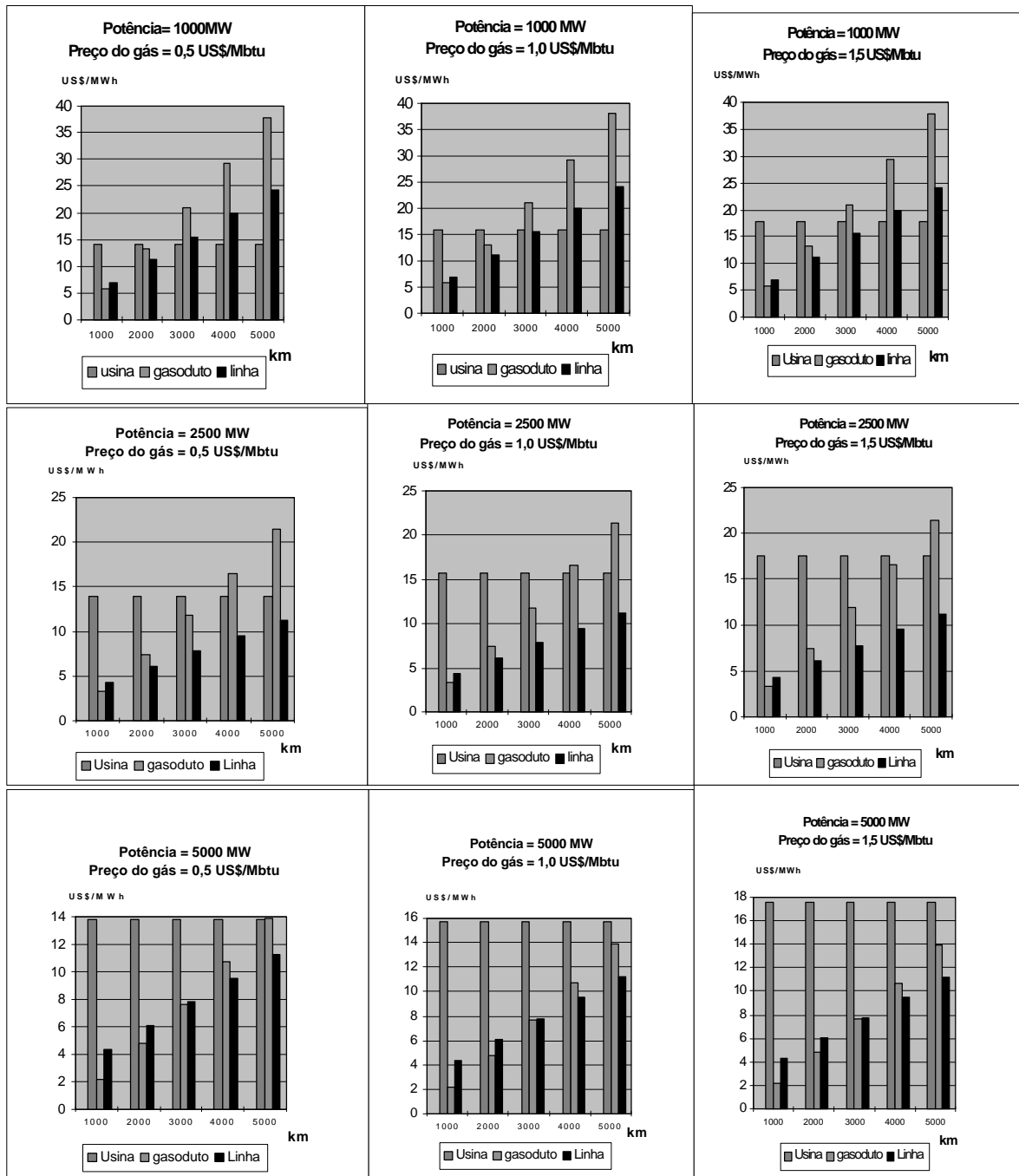


Figura 1- COMPONENTES DO CUSTO DA ENERGIA ENTREGUE AO CENTRO DE CARGA EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA (Km) COM DIFERENTES PREÇOS DE GÁS E PARA POTÊNCIAS DE 1000-2500-5000 MW

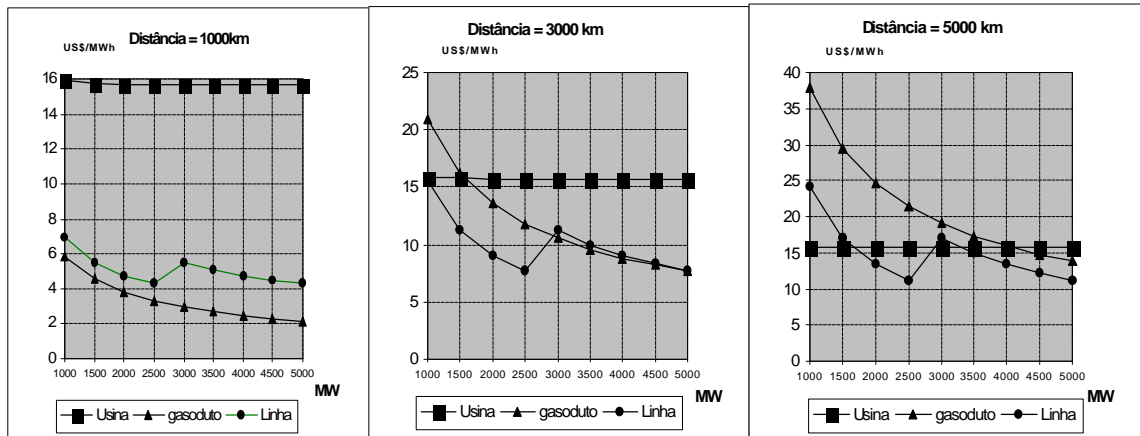


Figura 2 - Componentes do custo da energia entregue ao centro de carga em função da potência (MW) com um preço médio do gás (1,0 US\$/Mbtu) e para distâncias de 1000-3000-5000km

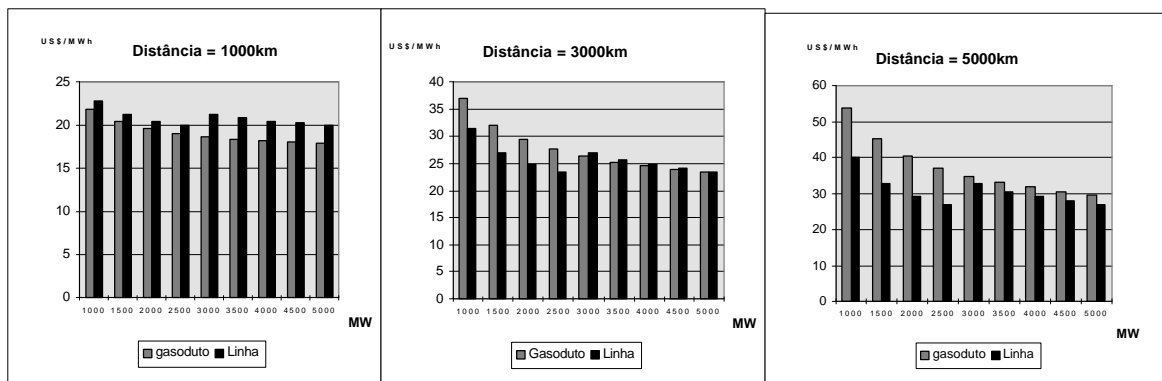


Figura 3 - Custo total da Energia entregue ao centro de carga com um preço médio de gás de 1,0 US\$/Mbtu