



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
CAMPUS ANGICOS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS TEC. HUMANAS  
CURSO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

KELSON FELIPE DOS SANTOS RODRIGUES

**ARMAZENAMENTO DE GÁS NATURAL PARA TRANSPORTE:  
AVALIAÇÃO DAS TECNOLOGIAS EXISTENTES**

ANGICOS-RN

2012

KELSON FELIPE DOS SANTOS RODRIGUES

**ARMAZENAMENTO DE GÁS NATURAL PARA TRANSPORTE:  
AVALIAÇÃO DAS TECNOLOGIAS EXISTENTES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –  
UFERSA, Campus Angicos para a obtenção  
do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Ma. Andréa Galindo  
Carneiro Rosal

ANGICOS-RN

2012

### Catálogo na Fonte

#### Biblioteca Universitária Campus Angicos (BCA-UFERSA)

R696a	Rodrigues, Kelson Felipe dos Santos. Armazenamento de gás natural para transporte: avaliação das tecnologias existentes / Kelson Felipe dos Santos Rodrigues. – Angicos, RN : UFERSA, 2012. 46 f. : il.  Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Campus Angicos. Orientadora: Prof. <sup>a</sup> Ma. Andréa Galindo Carneiro Rosal.  1. Gás Natural. 2. Matriz Energética. 3. Transporte. 4. Armazenamento. I. Título.  RN/UFERSA/BCA	CDD 665.7
-------	--	-----------

Ficha Catalográfica elaborada pelo Bibliotecário-Documentalista  
Sale Mário Gaudêncio – CRB15/476

KELSON FELIPE DOS SANTOS RODRIGUES

**ARMAZENAMENTO DE GÁS NATURAL PARA TRANSPORTE:  
AVALIAÇÃO DAS TECNOLOGIAS EXISTENTES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Campus Angicos da Universidade Federal  
Rural do Semi-Árido para a obtenção do título  
de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

APROVADO EM: 31/10/2012

BANCA EXAMINADORA



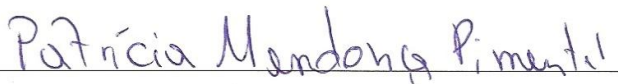
Prof<sup>ª</sup>. Ma. ANDRÉA GALINDO CARNEIRO, ROSAL

Presidente



Prof<sup>ª</sup>. Dra. ELISÂNGELA LOPES GALVÃO

Primeiro Membro



Prof<sup>ª</sup>. Dra. PATRÍCIA MENDONÇA PIMENTEL

Segundo Membro

## AGRADECIMENTOS

À DEUS, pela oportunidade de terminar mais uma etapa da minha vida. Presença constante no meu dia-a-dia, fonte de inspiração, motivação e sabedoria. Por ter me dado força e coragem para perseverar e por ter me mostrado caminhos e saídas em todos os momentos difíceis.

Aos meus pais FRANCISCO DE ASSIS RODRIGUES e MARIA ELZINEIDE DOS SANTOS e a minha avó SIVIRINA MESSIAS exemplos maior de vida e que sempre estiveram do meu lado em todos os momentos da minha vida.

Aos meus irmãos KELLY CRISTIANE SANTOS RODRIGUES e KELLYTON LAMARCK SANTOS RODRIGUES, pelo apoio para seguir em frente e enfrentar todos os obstáculos encontrados durante essa jornada. Agradeço também aos meus cunhados KADSON WADSON, SINARA LIMA e também ao meu sobrinho KAWA FELIPE.

A minha orientadora Prof<sup>ª</sup>. ANDRÉA GALINDO CARNEIRO ROSAL, por acreditar no meu potencial, pela imensa ajuda, paciência, prontidão e disponibilidade. Obrigada pela ajuda e amizade durante todo esse tempo.

Ao meu primo RAUL BARROS, pelo companheirismo e ajuda em todos os momentos de apertado, ao meu primo WYRAHU BARROS, por estar ajudando no meu crescimento profissional, me espelho nele em muitas coisas, sei que posso contar com os dois em todos os momentos.

Aos meus amigos RUAN LANDOLFO, RODOLPHO RODRIGO, SUMAYA LUNA AGUIAR, JEAN MICHEL, MAILLA ISLE, MARIELLE IRLANY, TAYLANE CALDAS, TAYRONE CARLOS, RUTE NOBREGA e TATIANNY BEZERRA pela amizade inquestionável, pelos bons momentos compartilhados e pela ajuda ao atravessar as dificuldades encontradas durante o curso. Vocês serão INESQUECÍVEIS!

Aos meus amigos GILDSON BEZERRA, JOSIMARIO LUIZ, JOÃO BATISTA MEDEIROS, MATHEUS TAVARES, CARLOS EDUARDO, RODOLFO FONSECA E TULIO CEZAR são amigos que eu considero muito e sempre preservo essas amizades.

A minha amiga KASSIA KALIANNY, que me ajudou em muitos momentos da minha jornada, agradeço de coração, pois você me passa muita garra e coragem, você é inesquecível.

A banca examinadora deste trabalho Prof<sup>ª</sup>. Dra. PATRÍCIA MENDONÇA PIMENTEL e Prof<sup>ª</sup>. Dra. ELISÂNGELA LOPES GALVÃO, por aceitar o convite disponibilizando do seu tempo para colaborar com o meu trabalho.

A todos os professores da UFERSA – Campus Angicos, pelos ensinamentos, dedicação e amizade.

## RESUMO

O gás natural é um insumo de grande relevância na matriz energética e com crescente consumo mundial, devido, principalmente, a emissão reduzida de gás carbônico quando comparado a outros combustíveis fósseis. Atualmente, há uma perspectiva de expansão da oferta de gás natural no Brasil devido as recentes reservas brasileiras descobertas. O governo federal vem incentivando, através do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), diversos projetos no setor energético visando o crescimento da economia brasileira. Entre os projetos priorizados destacam-se a ampliação do processamento, transporte e distribuição de gás natural no país. As tecnologias de transportes mais usadas no são o Gasoduto e o GNL (Gás Natural Liquefeito), no entanto, para que essas tecnologias sejam economicamente viáveis, existe a necessidade de enormes reservas provadas de gás e de grande investimento inicial em infraestrutura. Portanto, para que o gás natural aumente cada vez mais a sua participação na matriz energética é preciso que haja novos investimentos em formas alternativas de transporte e armazenamento. O presente trabalho teve como objetivo principal o estudo sobre as principais tecnologias de transporte e armazenamento de gás natural. Destacando as tecnologias de transporte mais usadas (Gasoduto, GNL e GNC) que possam permitir a interiorização do consumo de gás no Brasil, melhorando a balança comercial, reduzindo os índices de poluição e criando novos mercados consumidores para esse combustível tão abundante em nosso país. Além de uma breve análise econômica dessas tecnologias de transporte no mercado brasileiro. Verificou-se que para uma demanda de 100 mil m<sup>3</sup>/ dia até uma distância aproximada a 120 km é mais competitivo usar o Gasoduto, já para distância de até 250 km é melhor o GNC e para distâncias maiores o GNL, sendo, portanto, o custo da tecnologia de transporte proporcional à distância.

**Palavras-chave:** Gás Natural. Matriz Energética. Transporte. Armazenamento.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Formas encontradas do gás natural: (a) gás associado; (b) gás não associado.....	12
Figura 2 – Rota do gasoduto Bolívia-Brasil.....	15
Figura 3 – Projeção mundial do consumo de gás natural até 2030 .....	17
Figura 4 – Participação de alguns países no consumo mundial de gás natural em 2010.....	18
Figura 5 – Oferta interna de energia elétrica em 2010.....	19
Figura 6 – Cadeia produtiva do gás natural.....	20
Figura 7 – Esquema do método de prospecção aplicado em terra e no mar .....	21
Figura 8 – Perfuração do poço 1-BRSA-961-AM.....	22
Figura 9 – Dutos de transferência de petróleo e seus derivados.....	24
Figura 10 – Esferas de armazenamento de gás natural .....	26
Figura 11 – Esquema de transporte do GNL.....	28
Figura 12 – Navio regaseificador de GNL.....	29
Figura 13 – Carreta utilizada para transportar GNC.....	30
Figura 14 – Planta de GTL no Sul da África.....	32
Figura 15 – Turbina a gás natural .....	33
Figura 16 – Hidrato de metano .....	34
Figura 17 – Aparência do hidrato formado .....	34

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Componente do gás natural (% em mol).....	13
Tabela 2 – Especificação do gás natural comercializado no Brasil.....	14
Tabela 3 – Principais vantagens na utilização do gás natural .....	16
Tabela 4 – Algumas desvantagens na utilização do gás natural.....	16
Tabela 5 – Fator multiplicativo quanto às características do terreno .....	38
Tabela 6 – Fator multiplicativo quanto às características do acessório .....	38
Tabela 7 – Dados da produção do GNL.....	39
Tabela 8 – Dados de uma base de compressão da produção do GNC.....	40
Tabela 9 – Dados da produção do GNC.....	41



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

ASTM – American Society for Testing and Materials

BEN- Balanço Energético Nacional

CH<sub>4</sub> - Metano

C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> - Etano

C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> - Propano

CNTP - Condições Normais de Temperatura e Pressão

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

EIA - Energy Information Agency

FT - Fischer-Tropsch

GLP - Gás Liquefeito de Petróleo

GNC - Gás Natural Comprimido

GN – Gás Natural

GNL - Gás Natural Liquefeito

GTL - Gas to Liquid

GNV - Gás Natural Veicular

GTW - Gas toWire

HGN - Hidrato de Gás Natural

OCDE - Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico

PAC - Programa de Aceleração do Crescimento

PCS – Poder Calorífico Superior

UPGN- Unidade de processamento do Gás Natural

ZW- Zetta Watt ( 10<sup>21</sup>)

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	12
2.1 GÁS NATURAL.....	12
2.1.1 Definição e Ocorrência.....	12
2.1.2 Constituição.....	13
2.1.3 Características e Propriedades .....	13
2.1.4 Importância do Gás Natural.....	15
2.1.4.1 Vantagens e Desvantagens da Utilização do Gás Natural.....	16
2.1.5 Matriz Energética Mundial.....	17
2.1.6 Matriz Energética Nacional .....	18
2.2 CADEIA PRODUTIVA DO GÁS NATURAL .....	19
2.2.1 Prospecção e Exploração.....	20
2.2.2 Perfuração de Poços.....	22
2.2.3 Produção.....	23
2.2.4 Condicionamento.....	23
2.2.5 Transferência.....	24
2.2.6 Processamento .....	24
2.2.7 Transporte.....	25
2.2.8 Armazenamento .....	25
2.2.9 Distribuição .....	26
2.3 TECNOLOGIAS EXISTENTES PARA TRANSPORTE DO GÁS NATURAL .....	27
2.3.1 Gasodutos .....	27
2.3.2 Gás Natural Liquefeito (GNL).....	28
2.3.3 Gás Natural Comprimido (GNC) .....	29
2.3.5 GTW ( <i>Gas to Wire</i> ).....	32
2.3.6 Hidrato de Gás Natural (HGN) .....	33
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	36
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	37
4.1 GASODUTO .....	37

4.2 GÁS NATURAL LIQUEFEITO (GNL).....	38
4.3 GÁS NATURAL COMPRIMIDO (GNC).....	40
4.4 AVALIAÇÃO DA ANÁLISE ECONÔMICA.....	41
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>43</b>
<b>6 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>44</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O gás natural é um insumo de grande relevância na matriz energética e com crescente consumo mundial, devido, principalmente, a emissão reduzida de gás carbônico quando comparado a outros combustíveis fósseis. Considerado uma energia limpa, a utilização do mesmo integra as economias e conduz a decisões de gestão de empresas e países, que levam em consideração a utilização de tecnologias transfronteiras (BAIOCO et al., 2008).

Atualmente, o gás natural no Brasil apresenta uma importante participação na matriz energética. Inclusive possuindo uma perspectiva de expansão da oferta do combustível, devido as recentes reservas descobertas e da manutenção do vínculo Brasil-Bolívia, apesar das questões político-econômicas que envolvem os dois países. O mercado brasileiro é suprido com gás produzido pela Petrobras e importado da Bolívia. Junto a isso, o anúncio do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), pelo governo federal, tem incentivado uma série e projetos do plano estratégico da Petrobras. De acordo com o plano, o setor de petróleo e gás natural será o principal provedor de energia para dar partida no crescimento da economia brasileira nos próximos anos (AVILA; PAMPLONA, 2008).

Entre os projetos que o PAC prioriza estão à ampliação do processamento, transporte e distribuição de gás natural. Contudo, para que haja interesse na expansão da malha de distribuição, é necessário que se estimule a demanda pelo combustível, o que pode ser verificado através de investimentos privados no setor (AVILA; PAMPLONA, 2008).

As tecnologias de transportes mais usadas no são o Gasoduto e o GNL (Gás Natural Liquefeito), no entanto, para que essas tecnologias sejam economicamente viáveis, existe a necessidade de enormes reservas provadas de gás e de grande investimento inicial em infraestrutura. Por causa do alto custo desse empreendimento muitos campos de exploração não são desenvolvidos. Dessa maneira, alternativas tecnológicas de transporte de gás estão sendo estudadas visando o aperfeiçoamento da técnica, e algumas já existem no mercado como: GNC (Gás Natural Comprimido), HGN (Hidrato de Gás Natural), GTL (*Gas to Liquid*) e GTW (*Gas to Wire*), as tecnologias mais utilizadas no Brasil são Gasoduto, GNL e GNC (BAIOCO et al., 2008).

O presente trabalho tem como objetivo principal o estudo das principais tecnologias de transporte e armazenamento do gás natural no país, e fazer uma breve análise econômica das tecnologias mais usadas. Ressaltando o impacto que a utilização dessas tecnologias exerce no mercado brasileiro e no custo relativamente alto no preço final do gás.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 GÁS NATURAL

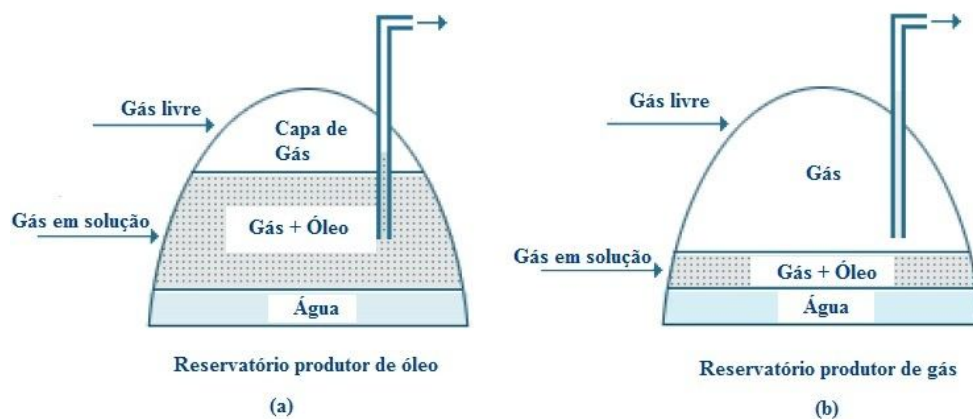
#### 2.1.1 Definição e Ocorrência

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos leves que, à temperatura ambiente e sob pressão atmosférica, permanece no estado gasoso. Encontrado na natureza acumulado nos reservatórios em rochas porosas no subsolo e frequentemente acompanhando por petróleo. A composição bruta do gás natural depende de uma série de fatores naturais que determinaram o processo de formação nos reservatórios e suas condições de acumulação (NÓBREGA, 2001).

Dependendo de como está depositado no subsolo, o gás natural (GN) pode ser classificado como gás associado ou não associado. O gás associado é encontrado em reservatórios de óleo, podendo estar dissolvido no óleo ou envolvido sob a forma de uma capa de gás. É separado do óleo na cabeça do poço, e no início da indústria do gás natural, praticamente todo o gás vinha dos poços produtores de óleo. Já o gás não associado está livre ou associado a pequenas quantidades de óleo. A produção de gás é independente da produção de óleo, recebe a denominação de poço de gás (SANT'ANNA, 2005).

A Figura 1 apresenta as diferentes características da formação geológica e de produção relacionadas ao gás associado e não associado.

Figura 1 – Formas encontradas do gás natural: (a) gás associado; (b) gás não associado



Fonte: Adaptado de SANT'ANNA (2005).

### 2.1.2 Constituição

O gás natural é constituído por hidrocarbonetos e por não-hidrocarbonetos (contaminantes), os principais hidrocarbonetos presentes na constituição são o metano ( $\text{CH}_4$ ), o etano ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), o propano ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) e outros de maior peso molecular como mostra a Tabela 1. Assim como o petróleo, não existe uma constituição específica para o gás natural. Frequentemente apresenta baixos teores de contaminantes como o dióxido de carbono, nitrogênio, água e compostos de enxofre. Nas condições de temperatura e pressão ambiente o metano, etano, propano e butano estão no estado gasoso sendo chamado de gás seco, enquanto que as frações mais pesadas, que podem condensar, são chamadas de gás úmido (NÓBREGA, 2001).

Tabela 1 – Componente do gás natural (% em mol)

	Campos de gás natural	Gás natural liberado do óleo
Nitrogênio	Traços – 15%	Traços – 10%
Dióxido de carbono	Traços – 5%	Traços – 4%
Gás Sulfídrico	Traços – 3%	Traços – 6%
Hélio	Traços – 5%	não
Metano	70 – 98%	45 – 92%
Etano	1 – 10%	4 – 21%
Propano	Traços – 5%	1 – 15%
Butanos	Traços – 2%	0,5 – 2%
Pentanos	Traços – 1%	Traços – 15%
Hexanos	Traços – 0,5%	Traços – 15%
Heptanos	traços– 0,5%	Traços – 15%

Fonte: THOMAS, 2001.

### 2.1.3 Características e Propriedades

O gás natural é inodoro, incolor, inflamável e asfixiante quando aspirado em altas concentrações, por isso, o seu manuseio requer alguns cuidados. Normalmente, para facilitar a identificação de vazamentos, adicionam-se compostos à base de enxofre em concentrações suficientes para fornecer um cheiro marcante que nós conhecemos, mas sem atribuir características corrosivas (NÓBREGA, 2001).

Como o gás se encontra no estado gasoso, o combustível não precisa ser atomizado para queimar, resultando num processo de combustão limpa, com redução na emissão de poluentes e melhor rendimento térmico, possibilitando a redução de despesas com a manutenção (VAZ et al., 2008).

O gás comercializado no Brasil possui as especificações ditadas pela Portaria nº 41, de 15 de abril de 1998, emitida pela Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustível (ANP), a qual agrupou o gás em três famílias, segundo a faixa de poder calorífico (ANP, 1998). A Tabela 2 apresenta a especificação do gás natural.

Tabela 2 – Especificação do gás natural comercializado no Brasil

CARACTERÍSTICAS (1)	UNID.	GRUPOS			MÉTODOS
		B (baixo)	M (médio)	A (alto)	
Poder calorífico superior (PCS)	kcal/m <sup>3</sup>	8000 a 9000	8800 a 10200	10000 a 12500	ASTM D 3588
Densidade relativa ao ar		0,54 a 0,60	0,55 a 0,69	0,66 a 0,82	ASTM D 3588
Teor de Gás Sulfídrico (H <sub>2</sub> S), máx.	mg/m <sup>3</sup>	20	20	20	ASTM D 5504 ou ISO 6326-3
Teor de Enxofre (H <sub>2</sub> S e enxofre mercaptídico), máx.	mg/m <sup>3</sup>	80	80	80	ASTM D 5504 ou ISO 6326-3
Teor de Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ), máx. (2)	% vol.	2	2	2	ASTM D 1945 ou ISO 6974
Teor de Inertes, máx. (3)	% vol.	4	4	4	ASTM D 1945 ou ISO 6974
Teor de Oxigênio (O <sub>2</sub> ), máx.	% vol.	0,5	0,5	0,5	ASTM D 1945 ou ISO 6974
Ponto de orvalho de água, 1atm, máx (4)	°C	- 45	- 45	- 45	ASTM D 5454

Obs.: (1) - Limites especificados são valores referidos a 20°C a 101,33 kPa (1 atm), exceto onde indicado.

(2) - Para as Regiões Norte e Nordeste, admite-se o valor de 3,5.

(3) - Para as Regiões Norte e Nordeste, admite-se o valor de 6,0.

(4) - Para as Regiões Norte e Nordeste, admite-se o valor de - 39.

Fonte: ANP (1998).

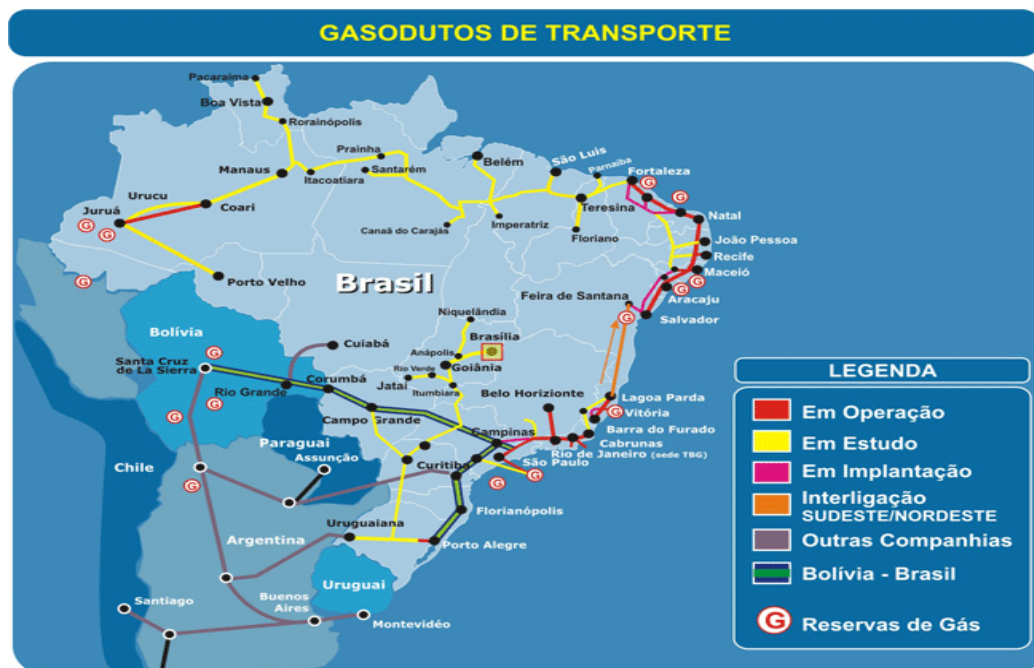
### 2.1.4 Importância do Gás Natural

Durante muitos anos, o gás natural foi considerado uma barreira na exploração do petróleo, devido à ausência de tecnologias para o seu aproveitamento nos poços produtores. Após a Conferência Mundial das Nações Unidas (RIO-92), foi elaborada em 1997 o Protocolo de Quioto (Painel de Mudanças Climáticas), o desenvolvimento de tecnologias de geração de energia com menor impacto ambiental foi incentivado. Nesse contexto, a utilização do gás natural ganhou destaque em relação aos seus concorrentes, como o carvão e outros derivados do petróleo, devido às suas menores taxas de emissão de gases do efeito estufa (VAZ et al., 2008).

A Lei nº 9.478/97 de 6 de agosto de 1997, também conhecida como Lei do Petróleo, dispõe sobre o marco regulatório da indústria de petróleo e gás natural no país, que permitiu um aumento significativo na participação do gás natural na matriz energética brasileira e a diversificação da sua demanda (ANP, 1997).

Dentre os diversos fatores ocasionados por essa mudança, destaca-se a entrada em operação do Gasoduto Bolívia-Brasil (Figura 2) no final de 1999, o aumento do volume de reservas de gás natural de origem nacional (Bacia de Campos, Santos e Urucu) e a ampliação da rede de transportes (VAZ et al., 2008).

Figura 2 – Rota do gasoduto Bolívia-Brasil



Fonte: ABEGÁS (2012).



No cenário Mundial, o gás natural continuará seu crescimento e estima-se que seja a segunda maior fonte de energia primária do mundo. Essa energia terá fundamental importância no processo de transição da atual indústria do petróleo e de derivados para a indústria do hidrogênio (estimativa a partir de 2020) (MARTINEZ, 2009).

#### 2.1.4.1 Vantagens e Desvantagens da Utilização do Gás Natural

A utilização do gás natural tanto para o consumidor como para a sociedade possui várias vantagens e algumas desvantagens, sendo estas apresentadas nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

Tabela 3 – Principais vantagens na utilização do gás natural

<b>VANTAGENS</b>
- É econômico, possui custo reduzido comparado a outros combustíveis;
- Sua queima gera uma grande quantidade de energia;
- Exige menor investimento em armazenamento/uso de espaço, pois não necessita estocagem;
- Proporciona menor custo de manutenção, manuseio do combustível e de outros custos operacionais;
- Reduz problemas de poluição e controle do meio ambiente evitando gastos com sistemas antipoluentes e com tratamento de efluentes;
- Proporciona maior segurança. Sendo mais leve que o ar, em caso de vazamento, o gás se dissipa rapidamente na atmosfera, diminuindo o risco de explosões e incêndios. Além disso, para que o gás natural se inflame, é preciso que seja submetido a uma temperatura superior a 620°C (por exemplo, o álcool se inflama a 200°C e a gasolina a 300°C);
<b>Fonte:</b> Potigás (2012).

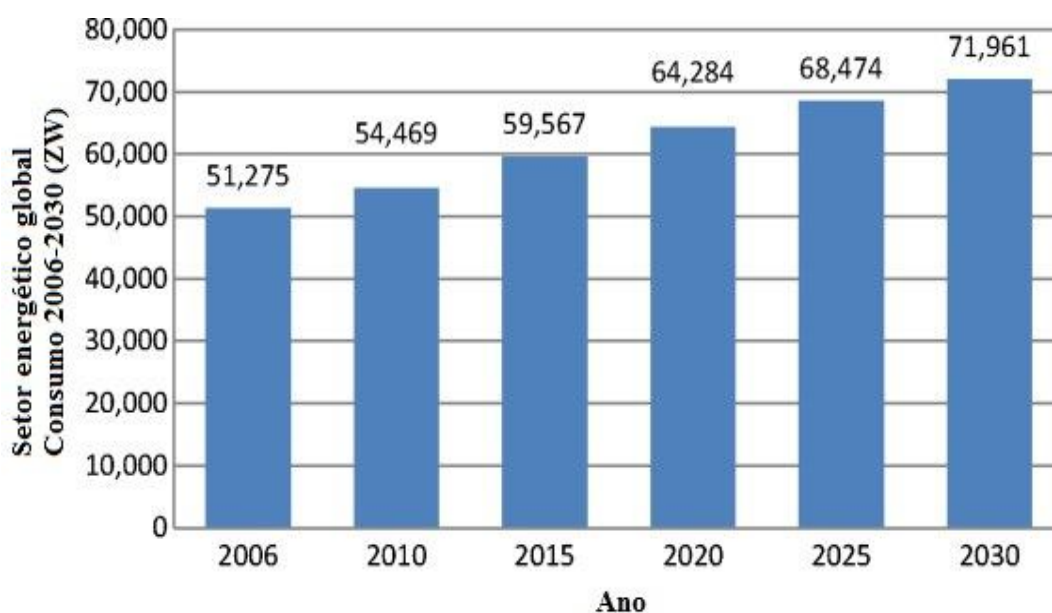
Tabela 4 – Algumas desvantagens na utilização do gás natural

<b>DESVANTAGENS</b>
- É um combustível fóssil, portanto finito;
- Apresenta riscos de asfixia, incêndio e explosão;
- O gás natural tende a se acumular nas partes mais elevadas, quando usado em ambientes fechados;
- Em caso de fogo em locais com insuficiência de oxigênio, poderá ser gerado monóxido de carbono, altamente tóxico.
<b>Fonte:</b> VAZ et al. (2008).

### 2.1.5 Matriz Energética Mundial

De acordo com a previsão da Agência de Informação de Energia dos Estados Unidos (Energy Information Agency – *EIA*), Figura 3, o consumo de gás natural no mundo vai crescer 1,6% ao ano no período 2006-2030, sendo superior nos países em desenvolvimento, e inferior nos países-membros da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) (MEKHILEF et al., 2011).

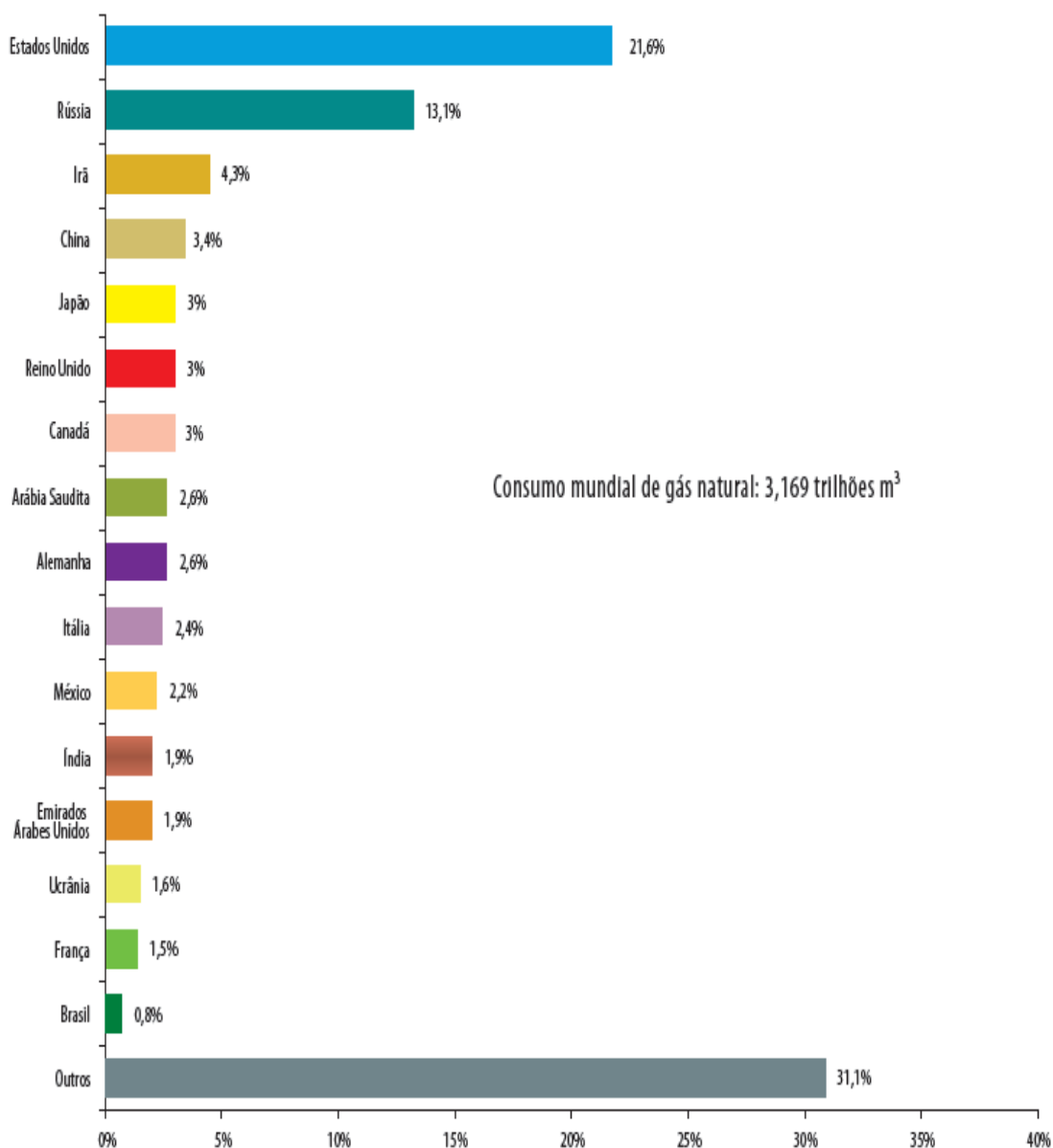
Figura 3 – Projeção mundial do consumo de gás natural até 2030



Fonte: Adaptada de MEKHILEF et al. (2011).

O consumo de gás natural é concentrado em alguns países. Com base nos dados de 2010, Figura 4, o consumo no mundo foi de 3,169 trilhões de m<sup>3</sup>, sendo que os dez países que mais consumiram esse produto responderam por 59% desse total os Estados Unidos por sua vez foi o maior consumidor com 21,6% seguido pela Rússia com 13,1% e, o Brasil foi o décimo sexto maior consumidor de gás natural com 0,8% (ANP, 2011).

Figura 4 – Participação de alguns países no consumo mundial de gás natural em 2010



Fonte: ANP (2011).

### 2.1.6 Matriz Energética Nacional

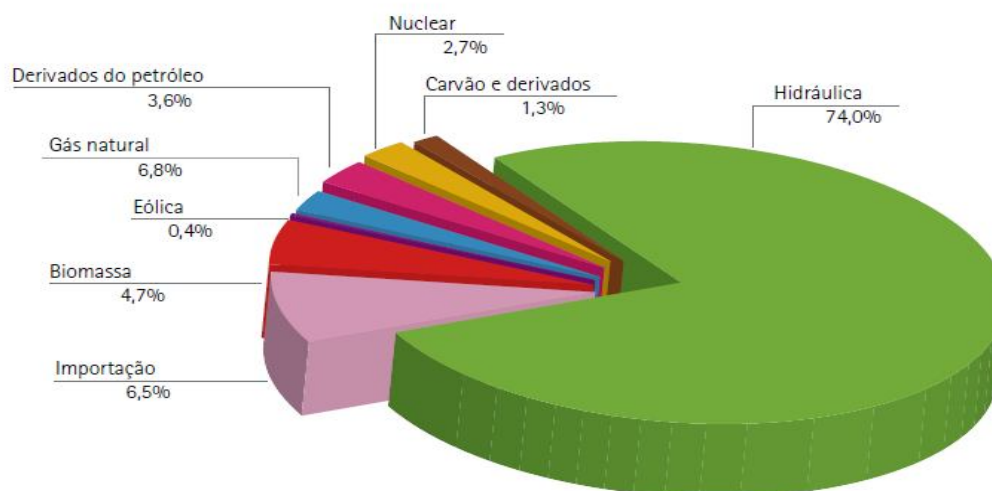
Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) 2011, disponibilizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em 2010 foram destacados os seguintes acontecimentos na área de gás natural: a recuperação do mercado de gás natural e o aumento da geração termelétrica.

A média diária de produção no ano foi de 62,8 milhões de m<sup>3</sup>/dia (+8,5% em comparação com 2009) e o volume de gás natural importado foi, em média, de 34,6 milhões

de m<sup>3</sup>/dia. Com isto, houve um aumento na participação do gás natural na matriz energética nacional, para o patamar de 10,3%. Dessa forma, em relação ao ano de 2009, houve um aumento da demanda industrial por gás natural em 29,0%, em função de diversos setores econômicos, tais como a siderurgia e pelotização. Enquanto que a demanda por eletricidade no país teve um expressivo aumento de 180% na geração térmica a gás natural (BEN, 2011).

Em relação ao consumo médio de gás natural, em 2010 o setor elétrico atingiu 22,1 milhões m<sup>3</sup>/ dia, significativamente maior que o patamar de 8,0 milhões m<sup>3</sup>/dia, registrado em 2009. Na Figura 5 é apresentada a oferta de energia elétrica no país, com destaque para utilização do gás natural nesse segmento, que se configura como a segunda principal fonte energética (BEN, 2011).

Figura 5 – Oferta interna de energia elétrica em 2010



Fonte: BEN (2011).

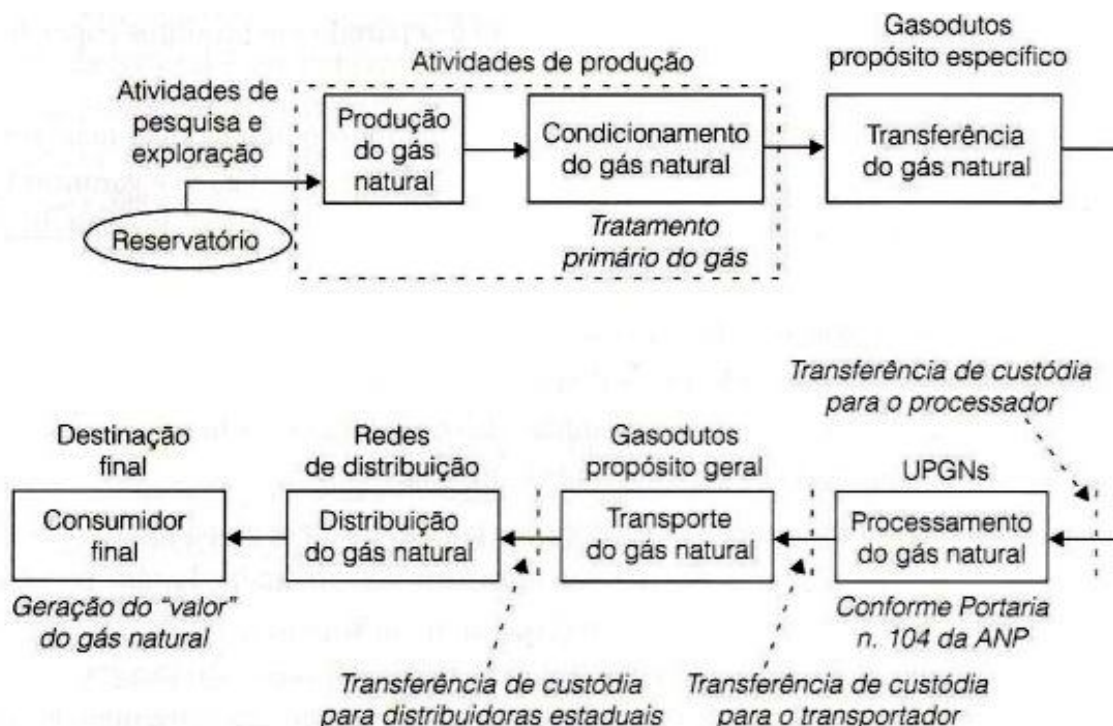
## 2.2 CADEIA PRODUTIVA DO GÁS NATURAL

A cadeia produtiva de gás natural é composta por um conjunto de atividades de produção, transporte, comercialização, processamento, distribuição e utilização, que funcionam de forma integrada possuindo um sequenciamento lógico das atividades, como em uma rede dividida em fases distintas (VAZ et al., 2008).

Na Figura 6 é apresentado um macro fluxo geral da movimentação do gás pelos principais participantes da cadeia produtiva, sendo destacados os principais pontos de transferência de responsabilidade entre os participantes diretamente envolvidos nesse fluxo. A

cadeia produtiva do gás natural é representada desde a atividade de exploração até o consumo final do produto, permitindo verificar as inter-relações e os serviços prestados pelos participantes da cadeia do gás. Dessa forma, fica evidente a agregação de valor em cada etapa, até a conclusão do ciclo e o estabelecimento do “valor do gás natural” como fonte de riqueza nacional (MARTINEZ, 2009).

Figura 6 – Cadeia produtiva do gás natural



Fonte: VAZ et al. (2008).

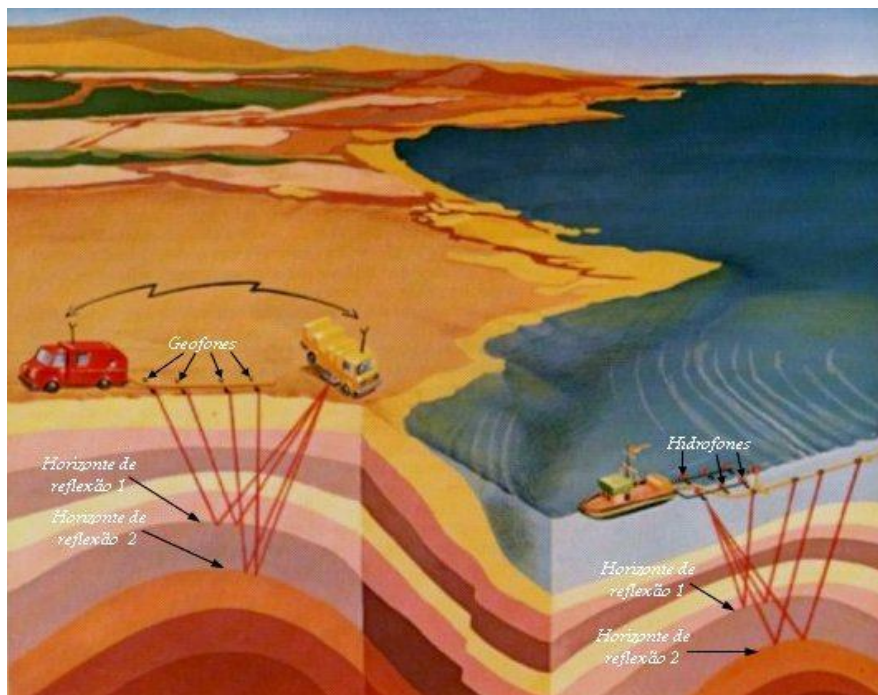
### 2.2.1 Prospecção e Exploração

A primeira fase da etapa de exploração do gás natural consiste na verificação da existência de bacias sedimentares, que possuam rochas reservatórias ricas em hidrocarbonetos que estão acumulados (VAZ et al., 2008).

Diversos métodos de pesquisa podem ser utilizados na identificação dos hidrocarbonetos nos reservatórios, que podem ser encontrados em fase líquida, gasosa ou bifásica. Em geral, essas pesquisas são baseadas nos métodos geológicos ou geofísicos. Os métodos geológicos analisam as características das rochas na superfície, e estimam seu comportamento a grandes profundidades. Enquanto que os métodos geofísicos procuram,

através de sofisticados instrumentos, fazer uma radiografia do subsolo (VAZ et al., 2008). Na Figura 7 é representado um esquema dos métodos de prospecção.

Figura 7 – Esquema do método de prospecção aplicado em terra e no mar



Fonte: PEGFACEX (2012).

Após estudos de geólogos e geofísicos, onde são coletadas informações sobre a espessura, profundidade e comportamento das camadas de rochas existentes em uma bacia sedimentar, determinam-se os locais mais prováveis para perfuração de poços exploratórios (MARTINEZ, 2009).

A etapa que completa a exploração é o mapeamento do reservatório, que utiliza as informações obtidas com o testemunho dos poços. Normalmente, perfuram-se poços de extensão para se estimar as dimensões da jazida e a quantidade de hidrocarbonetos nela existente. Essas informações são, então, utilizadas no desenvolvimento do plano de produção do reservatório, com definição da vazão diária a ser produzida, do número e arranjo dos poços de produção a serem perfurados, em complemento aos poços de delimitação (VAZ, et al., 2008).

### 2.2.2 Perfuração de Poços

A perfuração dos poços, até certa profundidade programada em função dos estudos sísmicos, é realizada por sondas de perfuração, constituídas de uma estrutura metálica e de equipamentos rotativos especiais. A torre sustenta a coluna de perfuração, em cuja extremidade é colocada uma broca que, por meio de movimentos de rotação e de peso transmitidos pela coluna, consegue perfurar as rochas das camadas do subsolo (VAZ et al., 2008).

Durante o processo de perfuração é injetado um fluido chamado de fluido ou lama de perfuração, que tem com o principal objetivo a remoção contínua do material triturado pela broca (fragmento de rocha), para que ao retornar a superfície seja separado do fluido e analisado (THOMAS, 20011).

Através da análise dos detritos contidos nesse material, é possível se obter os dados geológicos das sucessivas camadas rochosas atravessadas pela sonda. Essas informações obtidas definem a presença ou não de hidrocarbonetos em uma determinada formação (MARTINEZ, 2009).

A Figura 8 mostra uma sonda de perfuração de um poço no Amazonas.

Figura 8 – Perfuração do poço 1-BRSA-961-AM



Fonte: Portal Marítimo (2012).



### **2.2.3 Produção**

O processo de produção de gás natural é influenciado pelo tipo de gás a ser produzido. Dessa maneira, ao ser produzido, o gás natural associado ao petróleo sofre um tratamento primário em vasos separadores, que são equipamentos projetados para separar o gás, a água de produção e o petróleo. O gás natural produzido a partir de poços de gás não-associado também precisa receber tratamento primário, pois sempre ocorre a presença de água livre e hidrocarbonetos condensados na corrente de gás produzida, porém as condições de pressão e temperatura são diferenciadas, assim como o projeto dos equipamentos de separação (VAZ et al., 2008).

O gás produzido pode ser utilizado, através de duas formas diferenciadas, para aumento da produção de petróleo. A utilização mais comum é no emprego da técnica de gás de elevação, que consiste na injeção e circulação do gás na coluna de produção, com objetivo de fluidizar o líquido produzido, pela redução da densidade aparente do fluido. Essa técnica diminui o peso aparente da coluna de produção e, conseqüentemente, a resistência a ser vencida pela pressão do reservatório, gerando o aumento da vazão de líquido produzida. A outra forma de utilização do gás é na técnica de recuperação secundária pela injeção de gás dentro do reservatório, visando o aumento ou a manutenção da pressão original da jazida. Essa técnica tende a recompor a energia que o reservatório utiliza, elevando a produção da acumulação. Outra situação a que poderá ocorrer é a reinjeção do gás para armazenamento no reservatório, quando não houver consumo para este (VAZ et al., 2008).

### **2.2.4 Condicionamento**

O condicionamento do gás tem o objetivo de adequá-lo as características necessárias ao seu transporte, para que ser realizado sem prejuízo para as instalações utilizadas nestas operações e de forma segura. Normalmente, é necessário desidratá-lo para evitar a formação de hidratos. Em outras situações, pode ser necessário retirar compostos ácidos contaminantes (compostos de enxofre e gás carbônico), através do tratamento do gás em uma unidade de dessulfurização ou de remoção de CO<sub>2</sub> (MARTINEZ, 2009).



### 2.2.5 Transferência

O gás natural condicionado é transferido dos campos de produção para as unidades de processamento de gás natural. Em muitos sistemas de produção localizados na plataforma marítima, o escoamento do gás produzido ocorre por dutos submarinos de grande extensão. A especificação do gás transferido deve atender a requisitos técnicos que garantam essa movimentação de forma segura e continuada, sem a ocorrência de hidratos ou altas taxas de corrosão (normalmente geradas pela presença de contaminantes ácidos no gás). Os dutos utilizados para essa movimentação são chamados dutos de transferência de gás natural (VAZ et al., 2008). Na Figura 9, tem-se a ilustração de dutos de transferência de petróleo e seus derivados.

Figura 9 – Dutos de transferência de petróleo e seus derivados



Fonte: Universo do Petróleo (2012).

### 2.2.6 Processamento

Nesta etapa, o gás é recebido nas unidades industriais, conhecidas como UPGNs (Unidades de Processamento do Gás Natural), para ser processado. Nessas unidades, o gás é separado da fase líquida (água e hidrocarbonetos líquidos), desidratado, resfriado e fracionado em produtos específicos para o mercado o consumidor (VAZ, et al., 2008). As correntes que podem ser produzidas a partir do processamento do gás natural são:

- ▀ Metano e etano: formam um gás específico para mercado consumidor, chamado de gás residual;
- ▀ Corrente líquida de etano: utilização para fins petroquímicos;
- ▀ Propano e butano: formam o Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) ou gás de cozinha;
- ▀ Produto na faixa da gasolina, denominado C5+ ou gasolina natural.

### **2.2.7 Transporte**

O transporte do gás natural é uma das atividades mais complexas da cadeia produtiva, podendo ser realizado tanto no estado gasoso como no estado líquido. No estado gasoso, o transporte é feito principalmente por meio de dutos. Existe também a possibilidade do gás natural ser transportado em cilindros de alta pressão, sendo chamado de transporte de Gás Natural Comprimido (GNC), normalmente aplicado a pequenos volumes movimentados em curtas distâncias. O transporte na fase líquida é chamado de Gás Natural Liquefeito (GNL), onde o gás tem seu volume reduzido em cerca de 600 vezes, podendo ser transportado mais facilmente por meio de navios ou caminhões criogênicos, a uma temperatura de  $-160^{\circ}\text{C}$ . Nessa situação, para que o gás possa ser usado posteriormente é necessário vaporizá-los em equipamentos apropriados (VAZ et al., 2008).

### **2.2.8 Armazenamento**

A etapa de armazenamento não é muito utilizada no Brasil, mas o gás pode ser armazenado em poços de petróleo já esgotados ou em cavernas adaptadas, de forma a garantir o suprimento dos fornecedores em caso do aumento sazonal de consumo, ou por alguma outra eventualidade (MARTINEZ, 2009).

Geralmente, o gás natural processado é armazenado em esferas do tipo mostrado na Figura 10.

Figura 10 – Esferas de armazenamento de gás natural



Fonte: LASI (2012).

### 2.2.9 Distribuição

A distribuição do gás natural é a etapa final da cadeia produtiva. É nessa etapa que o gás é entregue ao consumidor final para uso residencial, comercial, industrial ou automotivo (MARTINEZ, 2009).

Nessa etapa, o gás deve atender às especificações regulamentadas pela ANP, e deve também conter substâncias odorizantes para garantir a segurança do usuário final, em caso de vazamentos. A distribuição do gás é feita através de malhas de gasodutos de baixa pressão, de responsabilidade das companhias distribuidoras estaduais, as quais podem ser constituídas por ferro fundido, aço ou polietileno de alta densidade (VAZ et al., 2008).

De acordo com a legislação vigente, a partir da etapa de transporte do gás natural, por qualquer tecnologia existente, esse combustível pode ser comprado pelas concessionárias de distribuição estaduais e, então, vendido para consumidores finais (VAZ et al., 2008).

## 2.3 TECNOLOGIAS EXISTENTES PARA TRANSPORTE DO GÁS NATURAL

Atualmente existe uma grande preocupação com o aproveitamento do gás natural tendo em vista que a demanda por este produto vem crescendo ao longo dos anos. Existem diversas tecnologias para transporte, armazenamento, e uso do gás natural (VAZ, et al., 2008).

As principais tecnologias de transporte do gás natural que serão abordadas são apresentadas nos itens 2.3.1 ao 2.3.6.

### 2.3.1 Gasodutos

Geralmente, existem três tipos de gasodutos responsáveis pelo transporte de gás natural: os que levam o gás do ponto de extração até às unidades de separação e tratamento - possuem diâmetro e pressão pequenos quando comparados aos interestaduais, os que distribuem o gás em vários pontos no seu trajeto através de *city-gates*, e os gasodutos do sistema de distribuição (RIGOLIN, 2007).

Por se encontrar na fase gasosa a quantidade de gás que pode ser transportada pelo gasoduto é determinada pela pressão. Embora que o aumento até a quantidade máxima pode ser obtido adicionando compressores ao longo da linha adicionando tubulações em forma de *loop* ou aumentando a pressão média do gasoduto. Em geral, a pressão nos dutos está na faixa de 70 a 100 bar com uma redução de volume de 60 a 90 vezes em relação ao volume ocupado nas CNTP (MARTINEZ, 2009).

Os gasodutos principais, geralmente, têm entre 16 e 42 polegadas de diâmetro, enquanto que aqueles que são ramificações da linha principal, possuem diâmetros entre 6 e 16 polegadas. Os dutos de transporte são em sua maioria produzidas em segmentos de aço, unido através de soldas especiais e revestido com algumas camadas protetoras, as quais dependem do local onde serão instalados. A grande maioria é revestida com uma camada de resina de epóxi anticorrosivo (RIGOLIN, 2007).

A construção de gasodutos deve ser bem estudada, pois sua implantação não é economicamente viável para pequenas reservas. Gasodutos submarinos - que atravessam grandes distâncias ou ambientes marinhos complexos como águas profundas, ou locais com atividades de pesca - são de difícil manutenção, e conseqüentemente não econômicos. Existe um estudo sobre os novos métodos que podem ser usados na redução dos custos, para tornar mais rápida a construção dos gasodutos (MARTINEZ, 2009).

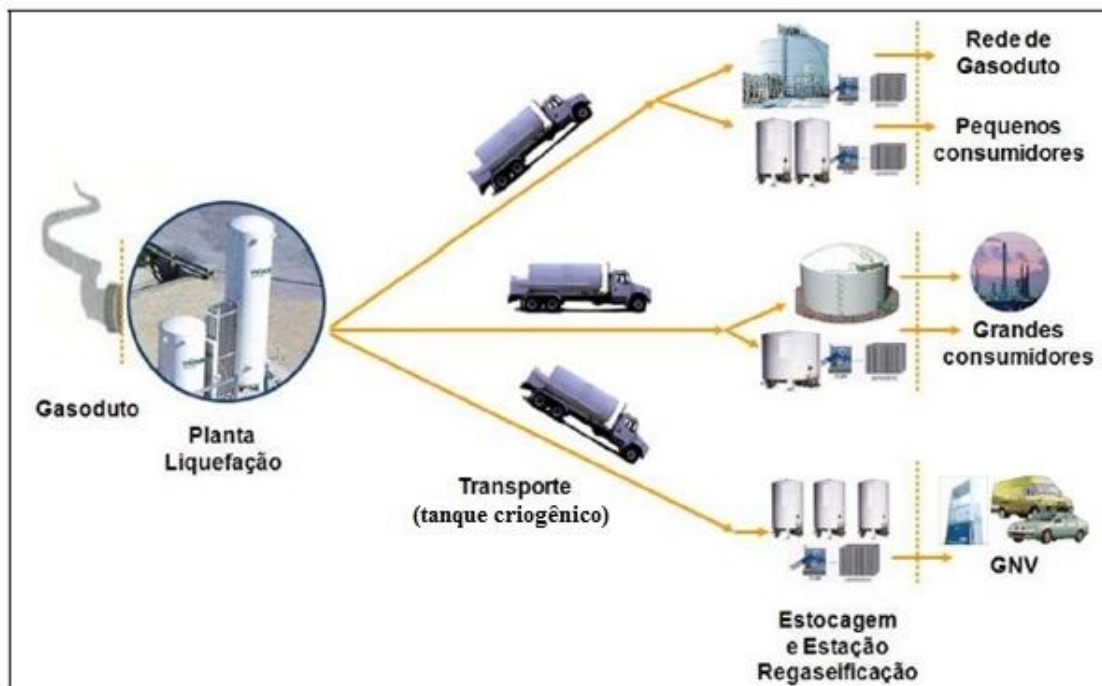
Gasoduto Guamaré- Fortaleza( GASFOR) pertence ao estado do RN- Municípios Guamaré, Macau, Pendências, Carnaubais, Serra do Mel e Mossoró, de Guamaré a Fortaleza percorrem 347 km de extensão, aos quais 147 km com 12” de diâmetro estão nos domínios do estado do RN. A operadora do empreendimento é a TRANSPETRO.

### 2.3.2 Gás Natural Liquefeito (GNL)

O gás natural pode ser liquefeito através do resfriamento em torno de  $-160^{\circ}\text{C}$  a pressão normal. Tal processo possibilita a redução do seu volume em aproximadamente 600 vezes (MARTINEZ, 2009).

O processo de transporte do GNL envolve as seguintes etapas: a planta de liquefação (contempla a filtração, secagem e resfriamento do gás), o sistema de transporte (feito em tanques criogênicos ou navios com sistema de refrigeração especial) e a planta de regaseificação (conversão do líquido em gás) (BENDEZÚ, 2009). A Figura 11 apresenta um esquema do transporte de GNL.

Figura 11 – Esquema de transporte do GNL



Fonte: BENDEZÚ (2009).

Em geral, os tanques criogênicos apresentam paredes duplas, ligadas por suportes de baixa condutibilidade térmica e possuem, nas zonas de baixas temperaturas, materiais de alta

resistência ao impacto e elevada resistência mecânica. A parede interna que entra em contato com o GNL é feita de aço-liga (níquel ou alumínio), enquanto o lado externo é feito de concreto pré-tensionado (VAZ et al., 2008).

O GNL pode ser transportado através de caminhões com tanques criogênicos, com capacidade de até 65 mil litros de GNL. São usadas para abastecer mercados de médios e pequenos portos, localizados longe dos gasodutos de transporte. Já o transporte de GNL em grandes volumes é realizado por meio de navios metaneiros, que levam o GNL das unidades de liquefação aos postos de regaseificação localizados próximos a pontos de distribuição de gás natural. Essas embarcações dispõem de tanques esféricos, construídos em aço-liga com capacidade para armazenar mais de 25000 m<sup>3</sup> de GNL, (equivalente a 11,1 x 10<sup>3</sup> toneladas). O custo estimado de um navio GNL com essa capacidade pode variar entre US\$ 200 e 220 milhões, o equivalente a um custo unitário de US\$ 1,7 por metro cúbico de capacidade (VAZ et al., 2008). A Figura 12 mostra um navio regaseificador de GNL.

Figura 12 – Navio regaseificador de GNL



Fonte: Revista Fator (2008).

### 2.3.3 Gás Natural Comprimido (GNC)

O gás natural comprimido é uma forma de armazenamento e transporte de gás a alta pressão, normalmente realizados em cilindros. O gás natural é manipulado a uma temperatura normal constante, submetendo-o a uma elevação da pressão inicial a cerca de 250 Bar. Por



efeito da elevação de pressão, o gás é comprimido a volumes menores, e armazenado normalmente em cilindros vedados, facilitando o transporte e a distribuição a clientes que não sejam servidos pela rede canalizada. Da mesma forma que o GNL, o GNC também pode ser transportado por carretas (Figura 13), com o objetivo de antecipar e divulgar o uso do produto no mercado consumidor, que tem potencial de consumo, mas que não tem rede de abastecimento (VAZ, et al., 2008).

Figura 13 – Carreta utilizada para transportar GNC



Fonte: Compagas (2012).

Esse tipo de transporte não deve ser visto como um concorrente do transporte por gasoduto ou GNL. Uma vez construído o gasoduto, o fornecimento de gás natural poderá ser ampliado a outros usos, tais como industrial, residencial, sistemas de co-geração, etc. Nesse caso, o sistema de transporte do GNC poderá migrar para outra cidade vizinha com a mesma concepção anterior (VAZ et al., 2008).

A principal vantagem do GNC é o fornecimento do insumo aonde as redes de distribuição não chegam, em condições mais competitivas se comparadas com o preço do GLP (MANOEL, 2006).

O sucesso do gás natural veicular (GNV) nos grandes centros urbanos gerou o consumo causou a necessidade de fornecimento em vários municípios do país. Esse tipo de transporte é bastante viável por esse aspecto econômico. Quanto menor a diferença do preço do GNV entre as cidades e também entre esse produto e os demais combustíveis (álcool e gasolina), maior será a atratividade do projeto (MANOEL, 2006).

#### 2.3.4 GTL (*Gas to Liquid*)

A tecnologia GTL consiste em uma conversão química do gás natural em um líquido estável por meio da síntese de Fischer-Tropsch (FT). Através desta conversão é possível obter produtos que podem ser consumidos diretamente como combustível (como por exemplo, diesel) ou produtos especiais tais como bases lubrificantes (RINGOLIN, 2007).

Estudos apontam que metade das reservas provadas de gás natural no mundo não terão mercado futuramente, pois essas reservas estão localizadas em regiões de difícil acesso. Portanto, para esses casos o uso da tecnologia GTL seria bastante econômica, uma vez que a mesma permite o aproveitamento das reservas de gás que possuem volumes pequenos e dispersos e por estarem em regiões distantes dos centros de consumo, não apresentam viabilidade técnico-econômica no curto prazo (SOUZA, 2008).

O aumento das restrições ambientais também é um elemento central nas transformações do ambiente de seleção tecnológica que vêm impulsionando o desenvolvimento da tecnologia GTL. Os combustíveis e produtos especiais produzidos através desta tecnologia são mais limpos do que aqueles obtidos a partir de refino do petróleo, e ainda possui baixo nível de poluentes, principalmente de enxofre. O processo GTL pode ser dividido em 3 etapas interdependentes: produção do gás de síntese; síntese de Fischer-Tropsch e o hidrocessamento (RINGOLIN, 2007).

A produção de gás de síntese é um processo muito comum na indústria petroquímica, logo a tecnologia GTL exige a produção de gás de síntese em escalas muito superiores e com custos inferiores aos das aplicações usuais. O processo Fischer-Tropsch (FT) produz uma mistura de hidrocarbonetos de cadeias longas com pesos moleculares variados. Os tipos de reatores e catalisadores são muito importantes para melhorar o processo. Como a reação de conversão é altamente exotérmica, diversas pesquisas estão sendo realizadas com o objetivo de desenvolver novas configurações dos equipamentos e permitir um aproveitamento energético mais eficiente. O hidrocessamento é utilizado para o tratamento dos produtos da tecnologia de FT (SOUZA, 2008).

Um dos pontos chave frequentemente apresentados na tecnologia GTL envolve a questão da escala. A indústria química, normalmente, está sempre orientada para produção em grandes volumes, com redução significativa nos custos. Por conta disso, ainda não se pode dizer que exista uma definição de escala ótima para essa tecnologia (SOUZA, 2008).

Uma unidade GTL é capaz de processar por dia 30 milhões de metros cúbicos, que equivale a 100 mil barris diários. O valor do investimento em uma unidade deste porte seria



em torno de US\$ 3 bilhões. Custo baixo em comparação com a tecnologia GNL, que tem um custo estimado US\$ 2 bilhões para uma unidade que processa 7 milhões de metros cúbicos por dia (SOUZA, 2008).

O GTL *offshore* é uma tecnologia importante e que pode ser adotada em larga escala na área do pré-sal, porque pode ser embarcado diretamente para exportação para o mercado europeu e norte-americano. A Figura 14 apresenta uma planta de GTL no Sul da África.

Figura 14 – Planta de GTL no Sul da África



Fonte: Processworldwide (2012).

### 2.3.5 GTW (*Gas to Wire*)

O processo GTW é caracterizado pela cogeração da energia do gás natural, em energia elétrica, através de turbinas a gás. Em seguida, ocorre a transmissão da eletricidade gerada para os mercados, utilizando cabos de alta voltagem submersos ou pela rede elétrica das concessionárias. É uma tecnologia usada na zona de produção para gerar eletricidade na boca do poço (MARTINEZ, 2009).

Infelizmente as linhas subaquáticas podem ser quase tão caras quanto os dutos de transporte de gás, mas o “GTW” não deixa de ser visto como uma alternativa para o transporte do gás natural. Alguns consideram que o uso energético do gás natural no consumidor final é mais flexível e tem melhor eficiência térmica, porque a perda de calor pode ser usada como aquecimento local e dessalinização (RIGOLIN, 2007).

Esta tecnologia de aproveitamento do GN requer, basicamente, a instalação de uma planta de geração de energia elétrica na unidade de produção *offshore*. Isto implica numa ligação da plataforma *offshore* à rede nacional de energia elétrica ou o fornecimento direto aos consumidores industriais com alta demanda de energia (BAIOCO, 2007).

Para a transformação da energia do gás natural em eletricidade são necessárias termoelétricas, onde o gás pode ser queimado para aquecimento de uma caldeira ou aplicado diretamente em turbinas (RIGOLIN, 2007).

A Figura 15 apresenta uma termoelétrica a GN com capacidade máxima de 130 MW de potência em Machala no Equador.

Figura 15 – Turbina a gás natural

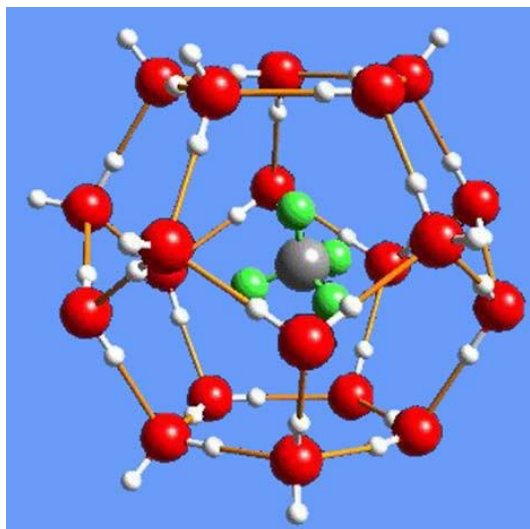


Fonte: Industcards (2012).

### 2.3.6 Hidrato de Gás Natural (HGN)

Os hidratos de gás pertencem à classe dos clatratos (substância química que consiste em uma gaiola feita de um tipo de molécula, que prende em seu interior um diferente tipo de molécula), que são originados pela capacidade que as moléculas de água possuem em se ligar via ligações de hidrogênio, formando cavidades como mostra a figura 16 (MARTINEZ, 2009).

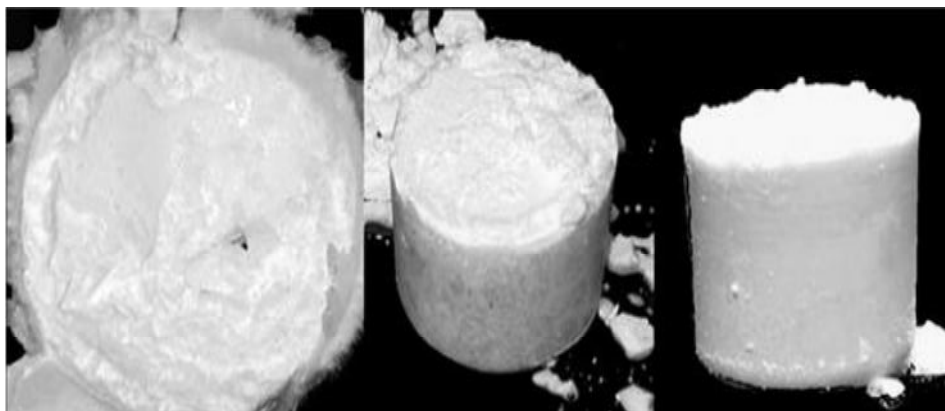
Figura 16 – Hidrato de metano



Fonte: MARTINEZ (2009).

Os hidratos de gás natural são sólidos parecidos com gelo (Figura 17), formando-se naturalmente nas condições adequadas. É formado a partir de moléculas de água, que formam uma gaiola, e outras moléculas gasosas presas no interior (por exemplo, metano ou dióxido de carbono). Possuem um tamanho adequado de modo a caber nas cavidades formadas pelas moléculas de água (VAZ et al., 2008).

Figura 17 – Aparência do hidrato formado



Fonte: MARTINEZ (2009).

A aparência física de um hidrato de gás natural é similar à de outras substâncias cristalinas. À temperatura e pressão padrão, uma molécula de hidrato de metano contém aproximadamente 170 volumes de metano para cada volume de água (MARTINEZ, 2009).

A tecnologia de transporte do hidrato de gás natural mostra-se uma boa alternativa, devido a sua capacidade de armazenamento. Em 1 m<sup>3</sup> de hidrato temos 0,85 m<sup>3</sup> de água e o restante de gás natural, e essa quantidade de gás natural é aproximadamente 170 m<sup>3</sup> de gás natural em condições normais de temperatura e pressão. Comparado com as tecnologias GNC e GNL, a quantidade de gás transportada por metro cúbico de hidrato é menor, contudo as condições de transporte são bem melhores quando comparadas às altas pressões dos cilindros de GNC e temperaturas criogênicas no transporte de GNL, o que torna o HGN bastante promissor (VAZ et al, 2008).

O desenvolvimento dessa tecnologia de transporte do gás natural envolve as etapas de produção, separação e transporte. Para que a produção seja viável economicamente, é necessário armazenar a maior quantidade possível de gás natural no hidrato. O desafio da separação é saber como retirar os hidratos formados que se encontram misturados com a água após sua produção, visto que a água e hidrato possuem densidades similares. Já o desafio do transporte está em armazenar e transportar grandes volumes de hidrato formado, evitando o uso de altas pressões e temperaturas muito baixas (MARTINEZ, 2009).

Normalmente, a aplicação dessa tecnologia é para reservas de gás que ainda não foram desenvolvidas por questões econômicas, podendo também ser aplicada aos transportes que percorrem grandes distâncias. Um aspecto interessante dessa tecnologia é que o gás regaseificado em instalações de armazenamento de GNL poderá ser transformado em pelotas de sólidos e ser transportado por carretas. Essa particularidade de formato apresenta vantagens na estabilidade do produto e na eficiência das operações de carga e descarga em carretas e navios que transportam o produto (MARTINEZ, 2009).

### **3 METODOLOGIA**

A metodologia adotada no presente trabalho foi caracterizada por uma pesquisa bibliográfica exploratória, descritiva e explicativa, uma vez que foi realizado um levantamento bibliográfico sobre as diferentes tecnologias usadas para o transporte do gás natural. Sendo destacada a constituição do gás natural, suas propriedades e características, demanda e consumo no Brasil e no mundo, e o estudo sobre a cadeia produtiva do gás, desde a exploração até sua distribuição. Um enfoque maior foi dado ao estudo das principais tecnologias de transporte e armazenamento do gás natural, e a análise econômica das principais tecnologias de transporte (gasodutos, GNC e GNL) mais usadas no mercado.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No presente trabalho foram analisadas as mais tradicionais formas de transporte de gás natural no mercado, que são o gasoduto, o gás natural liquefeito e o gás natural comprimido.

### 4.1 GASODUTO

O transporte por gasodutos permite deslocar grandes volumes de fluido de uma forma segura. Motivo pelo qual está sendo utilizado em muitos países com ótimos resultados. No entanto, problemas operacionais, como formação de gás condensado e de hidratos, podem ocorrer em ambiente *offshore*, os quais são prejudiciais ao desempenho do transporte, podendo bloquear parcialmente e até totalmente o duto. Dessa forma, muitas vezes são injetados continuamente inibidores de hidrato, que podem contaminar o gás, além de serem excessivamente caros e exigirem uma enorme capacidade de armazenamento. Outro fator importante que pode ser destacado é a necessidade de elevado custo capital e de enormes reservas provadas de gás, o que inviabiliza a sua utilização (BAIOCO et al., 2008).

Diversos fatores devem ser incluídos no projeto de construção de um gasoduto. O fator principal é o volume de gás natural a ser transportado, pois a partir desse valor deve-se especificar o aço utilizado no duto, que varia de acordo com a pressão desejável no projeto. O custo padrão dos tubos é determinado em função do comprimento e do diâmetro do tubo. Os acessórios usados (válvulas) também devem ser incluídos no custo do projeto, além dos compressores. Fatores como o tipo de terreno e de urbanização, onde o gasoduto irá atravessar também devem ser incluídos no projeto como fatores multiplicadores nesses cálculos (RINGOLIN, 2007).

As Tabelas 5 e 6 mostram alguns destes multiplicadores no projeto do gasoduto

Tabela 5 – Fator multiplicativo quanto às características do terreno

<b>Característica do terreno</b>	<b>Fator</b>
Levemente ondulado	1,0
Ondulado	1,1
Fortemente ondulado	1,2
Montanhoso	1,8
Amazônia	2,0

Fonte: RINGOLIN (2007).

Tabela 6 – Fator multiplicativo quanto às características do acessório

<b>Tipo de Válvulas</b>	<b>Fator</b>
Manual	1,0
Motorizada	1,2
Controle	1,3
Autônoma	1,5
Fechamento rápido	1,7

Fonte: RINGOLIN (2007).

#### 4.2 GÁS NATURAL LIQUEFEITO (GNL)

A principal alternativa aos gasodutos em atividade é o transporte de gás natural na forma líquida. Vários fatores têm aumentado a utilização do GNL no mundo, dentre eles destaca-se o grande aumento da demanda mundial de gás natural, a longa distância entre as áreas de produção e consumo, e a redução nos custos de produção do GNL graças ao desenvolvimento tecnológico do processo (VAZ et al., 2008).

O mercado de GNL possui três principais consumidores em destaque no mundo, localizados em diferentes regiões. Os Estados Unidos são os maiores consumidores de gás natural do mundo, e vem aumentando os projetos de importação de gás de outras regiões, como Canadá e México. Na Europa existe uma grande rede de gasodutos, e importa gás natural da Rússia. O mercado da Ásia é fortemente dependente do GNL, e o Japão é o maior consumidor (VAZ et al., 2008).

No início da década de 2000, foi criado no Brasil o Consórcio Gemini, com a participação da Petrobras, White Martins e Gás Local. O objetivo desse consórcio era

comercializar um novo produto no mercado, o GNL. Esse consórcio é o único a comercializar GNL no Brasil (MARTINEZ, 2009).

O GNL é um indutor para o crescimento das vendas de gás natural e representa uma alternativa a mais de suprimento, ampliando sua participação na matriz energética brasileira. A chegada do GNL em determinadas regiões cria a cultura de utilização do gás natural, permitindo que se viabilize posteriormente a construção de gasodutos (MARTINEZ, 2009).

Diversos fatores devem ser incluídos no projeto de GNL. A Tabela 7 apresenta alguns custos de implantação dessa tecnologia.

Tabela 7 – Dados da produção do GNL

<b>PLANTA</b>	
Capital Investido	US\$ 60.000.000
Capacidade	380.000 m <sup>3</sup> de GN/dia
<b>O&amp;M</b>	
Energia elétrica	0,034 R\$/m <sup>3</sup>
Manutenção	0,02 R\$/m <sup>3</sup>
Mão de Obra	0,005 R\$/m <sup>3</sup>
<b>TRANSPORTE DE CAMINHÃO</b>	
Volume Hidráulico	39.000 L
Gás Natural Transportado	25.000 m <sup>3</sup>
Custo (sem cavalo)	R\$ 1.200.000
Peso	38 a 40 ton
Custo médio do transporte rodoviário	2,8 R\$/km
Velocidade Média	40 km/h
Tempo de Carga e Descarga	5 h
<b>INVESTIMENTO EM CLIENTE</b>	
Custo UAG	R\$ 1.000.000
Consumo UAG máximo	1.000.000 m <sup>3</sup> de GN/mês

Fonte: WHITE MARTINS, 2009 apud MARTINEZ, 2009.



### 4.3 GÁS NATURAL COMPRIMIDO (GNC)

Essa tecnologia utilizada para o transporte de gás natural é a modalidade de compressão desse fluido em cilindros, à alta pressão (250 bar). Esses cilindros são acomodados em carretas e transportados por via rodoviária (WHITE MARTINS, 2009 apud MARTINEZ, 2009).

Um dos principais produtores de GNC do Brasil é a White Martins. Para efetuar a compressão do gás, ela conta com bases de compressão. Cada base de compressão em geral conta com quatro compressores (MARTINEZ, 2009). Na Tabela 8 são apresentados os dados de uma base compressão.

Tabela 8 – Dados de uma base de compressão da produção do GNC

Compressores	4
Capacidade do compressor	1.100 m <sup>3</sup> /h
Rendimento	70%
Custo	R\$ 400.000
Capacidade da base	74.000 m <sup>3</sup> /dia
Custo total de instalação da base	R\$ 2.800.000

**Fonte:** WHITE MARTINS, 2009 apud MARTINEZ, 2009.

O GNC é também um indutor para o crescimento das vendas de gás natural e representa uma alternativa a mais de suprimento. Com o objetivo de antecipar e divulgar o uso do produto no mercado consumidor, com potencial de consumo, mas que não dispõe de rede de abastecimento (VAZ et al., 2008).

O custo da mão de obra para a planta de GNC é maior que na planta de GNL. Isso ocorre porque a planta de GNL é mais automatizada que a planta de GNC. A manutenção da planta de GNC é mais simples, porém o gasto com energia elétrica para comprimir o gás na planta de GNC é maior que o gasto com energia para liquefação (MARTINEZ, 2009).

O GNC é atraente apenas para baixas demandas e pequenas distâncias. Na Tabela 9 é mostrado os dados de produção do GNC.

Tabela 9 – Dados da produção do GNC

<b>PLANTA</b>	
Capital Investido	US\$ 280.000
Capacidade	74.000 m <sup>3</sup> de GN/dia
<b>O&amp;M</b>	
Energia elétrica	0,06 R\$/m <sup>3</sup>
Manutenção	0,005 R\$/m <sup>3</sup>
Mão de Obra	0,01 R\$/m <sup>3</sup>
<b>TRANSPORTE DE CAMINHÃO</b>	
Volume Hidráulico	21.000 L
Gás Natural Transportado	6.300 m <sup>3</sup>
Custo (sem cavalo)	R\$ 450.000
Peso	37 ton
Custo médio do transporte rodoviário	2,8 R\$/km
Velocidade Média	40 km/h
Tempo de Carga e Descarga	5 h
<b>INVESTIMENTO EM CLIENTE</b>	
Custo painel	R\$ 150.000
Consumo máximo por painel	120.000 m <sup>3</sup> de GN/mês

**Fonte:** WHITE MARTINS, 2009 apud MARTINEZ, 2009.

#### 4.4 AVALIAÇÃO DA ANÁLISE ECONÔMICA

Através da avaliação da análise econômica para três principais tecnologias abordadas (gasodutos, GNC e GNL), observamos que as carretas de GNC não possuem a capacidade de transportar um grande volume de GN, quando comparadas àquelas que transportam GNL, sendo necessário fazer um maior número de viagens. Atualmente, a tecnologia disponível permite que um caminhão de 40 toneladas de GNC pode transportar 6.300 m<sup>3</sup>, enquanto que um caminhão similar de GNL pode transportar em torno de 25.000 m<sup>3</sup>.

Para uma demanda de 100 mil m<sup>3</sup>/ dia até uma distância aproximada a 120 km é mais competitivo usar o Gasoduto, para distâncias de até 250 km é melhor o GNC e para distâncias maiores o GNL. Observa-se que o custo da implantação da tecnologia de transporte é proporcional à distância.

## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizado um estudo sobre as tecnologias de transporte e armazenamento do gás natural, tendo como objetivo mostrar as características de cada tipo de transporte. A indústria do gás natural possui especificidades que inviabilizam o seu desenvolvimento. Pois se trata de uma indústria de rede que requer uma coordenação precisa de grandes investimentos, com longo prazo de maturação e custos altos em todas as etapas de sua cadeia produtiva.

Portanto, para que o gás natural aumente cada vez mais a sua participação na matriz energética é preciso que haja novos investimentos em formas alternativas de transporte e armazenamento. Através das principais tecnologias de transporte GNL, gasoduto e GNC, serão possíveis interiorizar o consumo de GN no Brasil, melhorando nossa balança comercial, reduzindo os índices de poluição e criando novos mercados consumidores para esse combustível tão abundante em nosso país.

## 6 REFERÊNCIAS

- ABEGÁS. **Rota Gasoduto Bolívia-Brasil e outras rotas.** Disponível em: <[http://www.abegas.org.br/info\\_mapagasoduto.php#](http://www.abegas.org.br/info_mapagasoduto.php#)> Acesso em: 13/09/2012.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. “*Anuário Estatístico 2011*”. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=57890>>. Acesso em: 19/09/2012.
- ANP. **Lei Nº 9.478, De 6.8.1997.** Disponível em: <[http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/leis/1997/lei%209.478%20-%201997.xml?f=templates\\$fn=default.htm&sync=1&vid=anp:10.1048/enu](http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/leis/1997/lei%209.478%20-%201997.xml?f=templates$fn=default.htm&sync=1&vid=anp:10.1048/enu)> Acesso em: 24/09/2012.
- ANP. **Portaria nº 41 de 15 de abril de 1998.** Disponível em: <[http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/folder\\_portarias\\_anp/portarias\\_anp\\_tec/1998/abril/pa np%2041%20-%201998.xml](http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/folder_portarias_anp/portarias_anp_tec/1998/abril/pa np%2041%20-%201998.xml)> Acesso em: 21/10/2012.
- AVILA, P.L; PAMPLONA, E.O. **Avaliação de mercado e planejamento de investimentos na indústria de Gás Natural no Brasil: Perspectivas de crescimento da malha de Gasodutos de distribuição-** RIO OIL & GAS, Rio de Janeiro, RJ; 15-18 de setembro de 2008.
- BAIOCO, J.S; SANTAREM, C.A; BONE, R.B; FILHO, V.J.M.F. **Análise de tecnologias de transporte de Gás Natural no Brasil: Comparação dos resultados da aplicação dos métodos Payback e VPL -** RIO OIL & GAS, Rio de Janeiro, RJ; 15-18 de setembro de 2008.
- BAIOCO, J. S.; SANTAREM, C. A.; BONE, R. B.; FILHO, V. J. M. F. **Custos e benefícios econômicos de tecnologias de transporte de gás natural no Brasil - 4º PDPETRO,** Campinas, SP; 21-24 de Outubro de 2007.
- BENDEZÚ, M. A. L. **Avaliação Técnico-Econômico das Alternativas Tecnológicas de Transporte de Gás Natural.** 2009. 81f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **BEN – Balanço Energético Nacional 2011.** Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2011.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2011.pdf)>. Acesso em: 08/08/2012.
- COMPAGAS. **Carreta utilizada para transportar GNC:** <[http://www.compagas.com.br/index.php/web/layout/set/print/noticias/sala\\_de\\_imprensa/noticias/2009/comeca\\_a\\_operar\\_o\\_primeiro\\_posto\\_com\\_gas\\_natural\\_comprimido](http://www.compagas.com.br/index.php/web/layout/set/print/noticias/sala_de_imprensa/noticias/2009/comeca_a_operar_o_primeiro_posto_com_gas_natural_comprimido)>. Acesso em: 02/10/2012.
- INDUSTCARDS. **Turbina a gás natural.** Disponível em: < [www.industcards.com](http://www.industcards.com) > Acesso em: 02/10/2012.
- LASI. **Robô Móvel para Inspeção de Esferas de Armazenamento de Gás.** Disponível em:

<[http://www.sel.eesc.usp.br/lasi/lasi\\_joomla/index.php/8-lasi/pesquisa/42-robo-movel-para-inspecao-de-esferas-de-armazenamento-de-gas](http://www.sel.eesc.usp.br/lasi/lasi_joomla/index.php/8-lasi/pesquisa/42-robo-movel-para-inspecao-de-esferas-de-armazenamento-de-gas)>. Acesso em: 26/09/2012.

MANOEL, C.O. **Aspectos regulatórios e modelos contratuais aplicáveis ao mercado de distribuição de gás natural a granel (gás natural comprimido – GNC e gás natural liquefeito – GNL) no Brasil**. 2006. 188 f. Dissertação (Mestrado em energia) – Escola Politécnica/Faculdade de Economia e Administração/Instituto de Eletrotécnica e Energia/Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MARTINEZ, D.B. **Transporte de Gás Natural sob a forma de hidratos gasosos**. 2009. 92 f. Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

MEKHILEF, S., SAIDUR, R., SAFARI, A. A review on solar energy use in industries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.15, 4, p. 1777-1790, 2011.

NÓBREGA, G. A. S. da. **Determinação do teor de umidade do gás natural usando um dispositivo com adsorção**. 2001. Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2001.

PEGFACEX. **Esquema do método de prospecção aplicado em terra e no mar**. Disponível em: <[http://pegfacex.blogspot.com.br/2011/08/geologia-do-petroleo\\_08.html](http://pegfacex.blogspot.com.br/2011/08/geologia-do-petroleo_08.html)>. Acesso em: 22/09/2012.

PORTAL MARÍTIMO. **Perfuração do poço 1-BRSA-961-AM**. Disponível em: <<http://portalmaritimo.com/2012/02/04/petrobras-encontra-petroleo-e-gas-na-bacia-do-solimoes/>>. Acesso em: 10/10/2012.

POTIGIGAS. **Vantagens do Gás Natural**: Disponível em: <<http://www.potigas.com.br/vantagens>>. Acesso em: 17/07/2012.

PROCESSWORLDWIDE. **Planta de GTL Sul da África**. Disponível em: <[http://www.processworldwide.com/engineering\\_construction/plant\\_design/basic\\_detail\\_engineering/articles/315432/](http://www.processworldwide.com/engineering_construction/plant_design/basic_detail_engineering/articles/315432/)>. Acesso em: 02/10/2012.

REVISTA FATOR. **Navio regaseificador de GNL**. Disponível em: <[http://www.revistafator.com.br/ver\\_noticia.php?not=42508](http://www.revistafator.com.br/ver_noticia.php?not=42508)>. Acesso em: 04/10/2012.

RIGOLIN, P. H. da C. **Avaliação global dos modos energéticos de transporte do gás natural inclusive como energia secundária**. Universidade de São Paulo, USP - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, 2007.

SANT'ANNA, A. A. **Simulação de processamento de gás natural em plataforma *off-shore***. 2005. 126 f. Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

SOUZA, V.H.B. **Estudo Tecnológico e Modelagem Reacional para Processo Fischer-Tropsch com Gás Natural**. 2008. 101 f. Monografia (Graduação em Engenharia Química) Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

THOMAS, J.E. **Fundamentos de Engenharia de petróleo**. Petrobras. Rio de Janeiro: Interciência, 2001.

UNIVERSO DO PETROLEO. **Dutos de transferência de petróleo e seus derivados**. Disponível em: < <http://www.universodopetroleo.com.br/2010/08/modal-dutoviario-na-industria-do.html>>. Acesso em: 08/08/2012.

VAZ, C.E.M., MAIA, J.L.P., SANTOS, W.G. **Tecnologia da Indústria do Gás Natural**. Editora Blucher, 2008.