

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP)

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS,
GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

DANILO FERREIRA CASSEMIRO

**APLICAÇÃO DE COGERAÇÃO A GÁS NATURAL; VANTAGENS;
BARREIRAS E DESAFIOS NO CENÁRIO BRASILEIRO.**

**São Paulo
2015**

DANILO FERREIRA CASSEMIRO

**APLICAÇÃO DE COGERAÇÃO A GÁS NATURAL; VANTAGENS;
BARREIRAS E DESAFIOS NO CENÁRIO BRASILEIRO.**

Monografia apresentada ao Programa de Educação
Contínua da Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do título de Especialista
em Energias Renováveis, Geração Distribuída
Eficiência Energética.

Orientador: Prof. Msc. Ronaldo Andreos

**São Paulo
2015**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Catálogo-na-publicação

Cassemiro, Danilo Ferreira

Aplicação de cogeração a gás natural; vantagens; barreiras e desafios no cenário brasileiro; Orientador Ronaldo Andreos - São Paulo, 2015.
72 p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis Geração Distribuída e Eficiência Energética;) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Cogeração 2.Gás Natural 3.Mercado Brasileiro I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: CASSEMIRO, Danilo Ferreira.

Título: Aplicação de cogeração a gás natural, vantagens, barreiras e desafios para o cenário brasileiro.

Monografia apresentada ao Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

DEDICATÓRIA

Dedico esta monografia a minha amada esposa Jackeline Marcelino Cassemiro por me apoiar, incentivar e orientar em todos os meus desafios e por ser um pilar essencial em meu sucesso e em minha vida.

Jamais se desespere em meio às sombrias aflições de sua vida, pois das nuvens mais negras cai água límpida e fecunda.

RESUMO

Esta monografia estuda a aplicação de cogeração a gás natural, porém exemplifica também outros combustíveis aplicáveis. Ilustra e exemplifica o funcionamento de equipamentos utilizados, tais como, motores de combustão interna MCI, turbinas a gás, turbinas a vapor etc. Além dos equipamentos utilizados, foi estudado e apresentado configurações de cogeração sendo Bottoming ou Topping de acordo com a aplicação de cada segmento a qual a planta de cogeração será aplicada. Devido combustível escolhido para o estudo ser o gás natural será apresentado informações sobre a exploração, produção, distribuição e propriedades do mesmo. Ao final será apresentado a aplicação de cogeração a gás natural dentro do cenário brasileiro colocando em estudo base instalada, vantagens, barreiras, desafios e ao final será apresentado propostas para superar tais entraves.

ABSTRACT

This monograph studies the application of cogeneration by natural gas, but also exemplifies others applicable fuels. It illustrates and exemplifies the operation of equipment's used, such as MCI internal combustion engines, gas turbines, steam turbines etc. Besides the equipment used, it was studied and presented cogeneration configurations such as Bottoming or Topping according to the application of each segment to which the cogeneration plant will be applied. Due to the fuel chosen for the study be the natural gas, it will be presented information about exploration, production, distribution and properties of itself. At the end, it will be presented the application of cogeneration using natural gas within the Brazilian scene putting in study the installed base, benefits, barriers and challenges and at the end will be presented proposals to overcome such obstacles.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Eficiência de um sistema sem cogeração e um sistema com cogeração .	17
Figura 2 - Funcionamento de motor ciclo Otto – 4 tempos.....	19
Figura 3 - Grupo gerador CAT G3520C 2077 kW a Gás Natural	20
Figura 4 - Aproveitamento energético motor de combustão interna.....	21
Figura 5 - Detalhe interno de uma Turbina a gás	22
Figura 6 - Aproveitamento energético para cogeração utilizando turbina a gás.....	22
Figura 7 - Ciclo Brayton com Turbina gás - TG	23
Figura 8 - Modelo de Turbina Vapor – TV	25
Figura 9 - Diagrama Ciclo Rankine	25
Figura 10 - Cogeração com Turbina a Vapor – TV Ciclo Rankine.....	26
Figura 11 - Micro-Turbina Capstone 30 kW.....	28
Figura 12 - Cogeração Ciclo Topping.....	30
Figura 13 - Cogeração Ciclo Bottoming	31
Figura 14 - Típica configuração comercial com motor ciclo Otto.....	32
Figura 15 - Configuração industrial com turbina a gás-Topping.....	32
Figura 16 - Gás Associado	37
Figura 17 - Gás Não Associado	38
Figura 18 - Exploração de gás natural Offshore.....	40
Figura 19 - Exploração de gás natural Onshore.....	41
Figura 20 - Área da Bacia do Rio Solimões	41
Figura 21 - Produção de gás natural nos últimos 10 anos	43
Figura 22 - Rede gasodutos Brasil.	44
Figura 23 - Concessionárias de GN – Brasil.	47
Figura 24 - Profundidade Pré-Sal.....	49
Figura 25 - Localização do Pré Sal	50
Figura 26 - Produção de gás natural no Pré-Sal 2013	51
Figura 27 - Gráfico com quantidade de usinas vs o combustível utilizado	57
Figura 28 - Evolução da base instalada de cogeração no Brasil.....	58
Figura 29 - Capacidade Instalada de Cogeração a gás natural por estado	60
Figura 30 - Número de clientes em São Paulo.....	61
Figura 31 - Potência estimada por setor	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Empreendimentos de cogeração a gás natural da ENERGYWORKS	15
Tabela 2 - Empreendimentos de cogeração a gás natural da ECOGEN	16
Tabela 3 - Principais fabricantes de motores de combustão interna ciclo Otto	21
Tabela 4 - Comparação de eficiência entre sistema termelétrico com cogeração	26
Tabela 5 - Resumo das principais tecnologias de cogeração e características	29
Tabela 6 - Composição típica do gás natural	36
Tabela 7 – Reservas provadas de gás natural em 2012	39
Tabela 8 – Tarifação Gás Natural setor comercial	52
Tabela 9– Tarifação Gás Natural setor industrial	53
Tabela 10 - Comparativo de emissões entre os combustíveis	54
Tabela 11 – Base instalada no Brasil vs combustíveis aplicados.....	57
Tabela 12 - Base instalada mundial de cogeração utilizando gás natural.....	59
Tabela 13 - Potencial de cogeração a gás natural por segmento de atividade – Industrial.....	62
Tabela 14 - Potencial de cogeração a gás natural por segmento de atividade – Setor terciário.....	62
Tabela 15 - Tarifas cogeração.....	63

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

MCI – Motor de Combustão Interna

TG – Turbina a Gás

TV – Turbina a Vapor

μ TG – Micro Turbina a Gás

GNV – Gás Natural Veicular

kW – Quilowatt

MW – Megawatt

kWe – Quilowatt Elétrico

CHP – Combined Heat and Power

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

FUE – Fator de Utilização de Energia

W – Potência de eixo produzido pela máquina

Qu – Taxa de calor útil produzido ou recuperado

PCI – Poder calorífico inferior do combustível

CH_4 – Metano

C_2H_6 – Etano

C_3H_8 – Propano

C_4H_{10} – Butano

CO_2 – Dióxido de Carbono

N_2 – Nitrogênio

$Kcal/m^3$ - Quilocaloria por metro cúbico

kJ/m^3 - Quilojoule por metro cúbico

kWh/m^3 - Quilowatt hora por metro cúbico

m^3 - metros cúbicos

km – Quilometro

km^2 - Quilometro quadrado

K – Kelvin

Pa – Pascal

ABEGÁS - Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Gás Canalizado

COGEN – Associação da Indústria de Cogeração de Energia

BOO - Built Operate Own

BOT - Built Operate Transfer.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1. OBJETIVO, MOTIVAÇÃO, JUSTIFICATIVAS.....	14
2. ESTADO DA ARTE.....	15
2.1. O QUE É COGERAÇÃO	15
2.2. TIPOS DE EQUIPAMENTOS E TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS.....	18
2.2.1. MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA - MCI	19
2.2.2. MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA MCI CICLO OTTO.....	19
2.2.3. TURBINAS A GÁS.....	22
2.2.4. TURBINA A VAPOR	24
2.2.5. MICRO TURBINA A GAS - μ TG	27
2.3. CONFIGURAÇÕES BÁSICAS DE COGERAÇÃO	30
2.3.1. CICLO TOPPING.....	30
2.3.2. CICLO BOTTOMING	31
2.4. COMBUSTÍVEIS APLICÁVEIS	33
2.5. FATOR DE UTILIZAÇÃO DE ENERGIA	34
3. GÁS NATURAL	35
3.1. PROPRIEDADES.....	35
3.1.1. GÁS ASSOCIADO	37
3.1.2. GÁS NÃO ASSOCIADO	38
3.2. EXPLORAÇÃO, PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO	39
3.2.1. EXPLORAÇÃO	39
3.2.2. PRODUÇÃO	42
3.2.3. DISTRIBUIÇÃO	43
3.3. OFERTA BRASILEIRA DE GÁS NATURAL	48
3.3.1. PRÉ SAL	48
3.3.2. TARIFAS GÁS NATURAL	51
4. COGERAÇÃO A GÁS NATURAL.....	54
4.1. APLICAÇÕES	55
4.1.1. POTÊNCIA ELEVADA.....	55
4.1.2. POTÊNCIA MÉDIA	55
4.1.3. POTÊNCIA BAIXA.....	55

5. ANÁLISE DO CENÁRIO BRASILEIRO.....	57
5.1. BASE INSTALADA.....	57
5.2. POTENCIAL DE MERCADO.....	60
5.3. TARIFAS GÁS NATURAL.....	63
5.4. LEGISLAÇÃO - RESOLUÇÃO 482.....	65
5.5. VANTAGENS	66
5.6. BARREIRAS	67
5.7. DESAFIOS	68
6. CONCLUSÕES.....	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

1. INTRODUÇÃO

1.1. OBJETIVO, MOTIVAÇÃO, JUSTIFICATIVAS.

OBJETIVO

O objetivo desta monografia é estudar a aplicação de cogeração utilizando como combustível o gás natural, destacando as barreiras e desafios no cenário brasileiro.

Como complemento ao estudo aqui apresentado, o documento também irá exemplificar os conceitos, configurações e tecnologias atuais.

MOTIVAÇÃO

Atualmente o ganho de eficiência em processos de geração de energia é um ponto crucial para andamento estável e sustentável e diante de uma crise hídrica, há uma busca por outros meios de produção de energia elétrica e consequentemente meios combinados de produção da mesma.

O ganho eficiência e a redução das perdas utilizando um sistema de cogeração proporciona a produção de uma energia elétrica confiável, ficando a unidade industrial ou comercial em grande parte independente da qualidade de fornecimento do distribuidor de energia além prover outras fontes de energia com base na utilização de uma única fonte primária de combustível, ou seja, obtendo o máximo possível de produção de energia a partir desta fonte.

JUSTIFICATIVAS

Além do alto desempenho, praticamente sem desperdício, a cogeração tem um caráter descentralizador, pois fica próxima da unidade consumidora, assim, o impacto ambiental é reduzido, já que não há necessidade de linhas de transmissão extensas e suas consequentes infraestruturas, além de ter um aspecto ambiental mais favorável devido ao menor índice de emissão de gases de efeito estufa.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. O QUE É COGERAÇÃO

Cogeração é o processo onde se produz uma ou mais formas de energia a partir de uma única fonte de energia. Os combustíveis utilizados podem ser: óleo, gás natural, biomassa.

Na cogeração pode-se obter um aproveitamento de até 85% da energia contida no combustível, a qual pode ser transformada em água quente ou vapor (geração de calor), eletricidade, força motriz e água gelada (climatização) (ANDREOS, 2013).

O aproveitamento térmico a partir da cogeração pode ser aplicado em outras utilidades como por exemplo para o mercado industrial ou para comércio e serviços. As utilidades aplicadas mais comumente são:

- Vapor
- Água quente
- Água gelada (ar condicionado)

A operação e manutenção do sistema podem ficar sob a responsabilidade dos fabricantes de equipamentos ou ficar sob a responsabilidade de empresas terceirizadas, como por exemplo demonstrado a seguir nas tabelas 1 e 2.

ENERGYWORKS

- Praia do Flamengo 78, 7º Andar - Rio de Janeiro – RJ

Empreendimento	Mwe
Kaiser Pacatuba Ceará	5,6
Corn Products Mogi Guaçu – São Paulo	34,9
Corn Products Balsa Nova – Paraná	10,4
Kaiser Jacareí – São Paulo	8,6
Ambev Rio de Janeiro	13,1

Tabela 1 - Empreendimentos de cogeração a gás natural da ENERGYWORKS

Fonte: Material de aula 1 – ER003. Adaptada

ECOGEN BRASIL

- Av. das Nações Unidas, 14.171 - Marble Tower - 11º andar - São Paulo - SP

Empreendimento	Mwe
Rochaverá (edifício corporativo)	15,4
Shopping Taboão	8,2
Shopping Campo Grande – MS	5,9
Shopping Bangu Rio	5,6
Levorin Pneus	4,1
Shopping Interlagos	3,8
Shopping Caxias Rio	3,2
Inapel (Papel)	1,3
Ahlstrom (Papel)	1,2
Hotel Sofitel São Paulo	0,4
Hotel Cesar Park Guarulhos	0,7

Tabela 2 - Empreendimentos de cogeração a gás natural da ECOGEN

Fonte: Material de aula 1 – ER003. Adaptada

Os empreendimentos podem ser desenvolvidos com alguns benefícios, tais como, BOO - *Built Operate Own* e BOT - *Built Operate Transfer*, onde você investe e opera a cogeração ou terceiriza o investimento.

O segmento de cogeração possui tarifa diferenciada frente outros segmentos, para se obter o direito da tarifa de cogeração o projeto deve ser homologado junto a ANEEL.

Um sistema de cogeração pode ser configurado a partir de uma turbina a gás ou com ciclo combinado entre turbina a gás com turbina a vapor ou utilizando um motogerador. O aumento de eficiência pode ser demonstrado abaixo através da figura 1, onde com uma usina somente com o foco na produção de energia elétrica ou em outras palavras, um sistema convencional, somente obtemos um aproveitamento em torno de 35% do potencial do combustível utilizado para esse fim e cerca de 65% deste potencial é perdido em forma de calor. Ao se adotar o conceito de cogeração faz se o balanço energético do sistema e essa perda se reduz significativamente, chegando em torno de 15%.

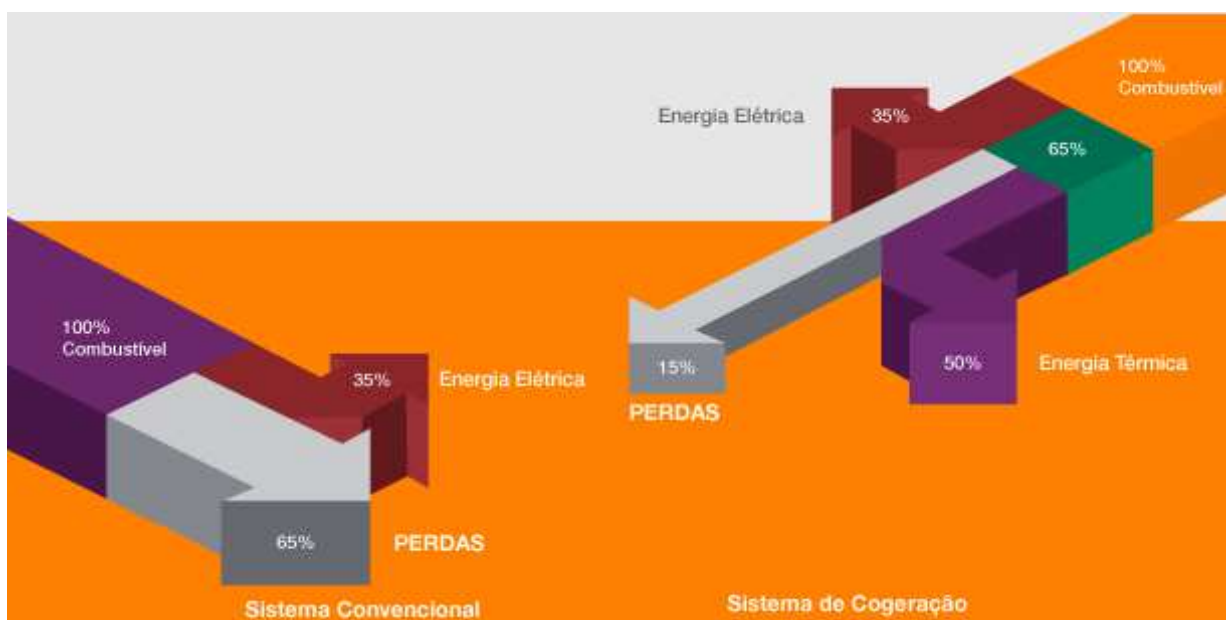


Figura 1 - Eficiência de um sistema sem cogeração e um sistema com cogeração

Fonte Engigroup- www.engigroup.com

Tecnicamente a cogeração se destaca dentre as demais formas de geração especialmente por elevar a eficiência conjunta de conversão da energia química dos combustíveis em energia útil, garantindo à empresa ou unidade maior confiabilidade na geração de seus insumos energéticos, especialmente naqueles setores que contam com sub-processos aos quais não se permitem falhas no fornecimento de energia (LEITE,2014).

2.2. TIPOS DE EQUIPAMENTOS E TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS

Uma planta de cogeração consiste em vários equipamentos para produzir eletricidade e calor (vapor, água quente ou fria). A quantidade e os tipos de equipamentos dependem do tamanho do sistema e o método usado para gerar eletricidade e calor de processo.

Dentre todos os combustíveis ora citados no capítulo anterior, toma-se como principal e foco deste estudo o gás natural. Os equipamentos que trabalham utilizando o gás natural como combustível para geração de energia e consequentemente cogerao uma ou mais fontes de energia utilizando os gases de escape e calor liberado, são basicamente modelos de mercado.

Com base na literatura técnica pertinente ao tema e dados técnicos disponibilizados pelos principais fabricantes com representação no mercado brasileiro, foram levantadas as tecnologias disponíveis com ênfase na aplicação de cogeração de pequeno e médio porte para a produção simultânea de energia elétrica, água gelada e água quente no setor terciário. (ANDREOS, 2012).

- Motor de Combustão Interna – MCI
- Motor de Combustão Interna Ciclo Otto
- Turbina a Gás – TG
- Turbina a Vapor – TV
- Micro Turbina a Gás – μ TG

2.2.1. MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA - MCI

Assim como afirma Simões Moreira:

Conhecidos também como motores a explosão, são equipamentos que transformam a energia de um dado combustível, seja ele líquido ou gasoso, em energia mecânica através de um processo de conversão que envolve os ciclos de expansão, compressão e mudança de temperatura de gases. Como fluido de trabalho utilizam o ar atmosférico, ou seja, o mesmo é que sofre a compressão, aumento de temperatura (queima), expansão, e por fim, a exaustão (SIMÕES MOREIRA; PIMENTA, 2011).

Os motores de combustão interna são do tipo endotérmico com movimentos alternativos através de pistão que giram o eixo principal transmitindo a potência necessária para girar o alternador que produz a energia elétrica. (ANDREOS, 2012).

2.2.2. MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA MCI CICLO OTTO

Direcionado a esse estudo temos os motores ciclo Otto onde o combustível utilizado pode ser álcool, gasolina, gás natural, GNV ou Bio Gás. A combustão da mistura ar/combustível injetado dentro da câmara de combustão é dada por meio de uma centelha proporcionada por uma combinação de um conjunto de bobinas de ignição e velas, assim como exemplificado na figura 2 abaixo:

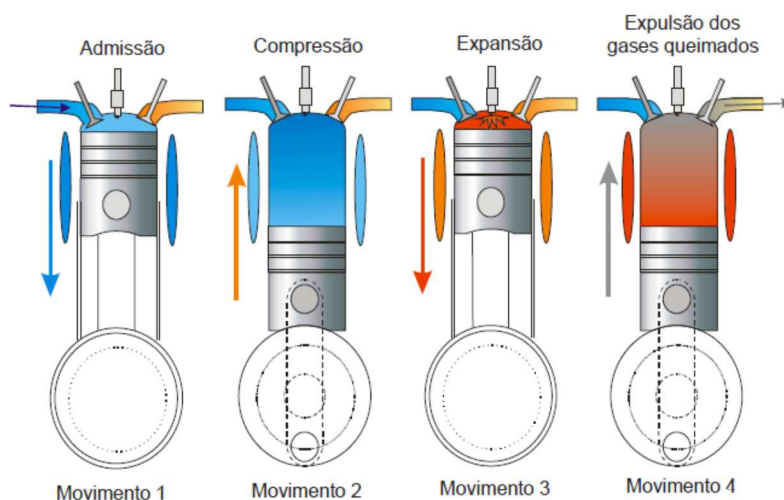


Figura 2 - Funcionamento de motor ciclo Otto – 4 tempos

Fonte: SAKATSUME, 2004

Relacionando-se aos motores de combustão interna utilizados para geração de energia elétrica, temos os geradores de energia elétrica comumente utilizados no mercado, sendo em sua grande totalizada uma combinação de um motor de combustão interna acoplado a seu eixo um alternador de eletricidade. Quando o motor parte e gira o alternador acoplado ao eixo, o mesmo produz eletricidade.

A figura 3 a seguir representa um gerador de energia ciclo Otto G3520C de 2077kW do fabricante Caterpillar com controle da razão ar/combustível (λ) para prover mistura rica, ou seja, $\lambda > 1$ (mais combustível comparado ao ar internamente a câmara de combustão), ou $\lambda < 1$ (menos combustível comparado ao ar internamente a câmara de combustão, mas conhecido como Lean Burning).



Figura 3 - Grupo gerador CAT G3520C 2077 kW a Gás Natural

Fonte: Caterpillar - www.cat.com

A eficiência elétrica dos motores de combustão interna pode ser de 28% para motores pequenos até 100 kW e até 40% para motores grandes acima de 3 MW.

Como ilustrado na figura 4 a seguir o calor rejeitado pelo mesmo pode ser recuperado de três fontes distintas, tais como:

- Gases de exaustão
- Água de refrigeração do motor ou Intercooler.
- Óleo de lubrificação e de refrigeração do turbo compressor.

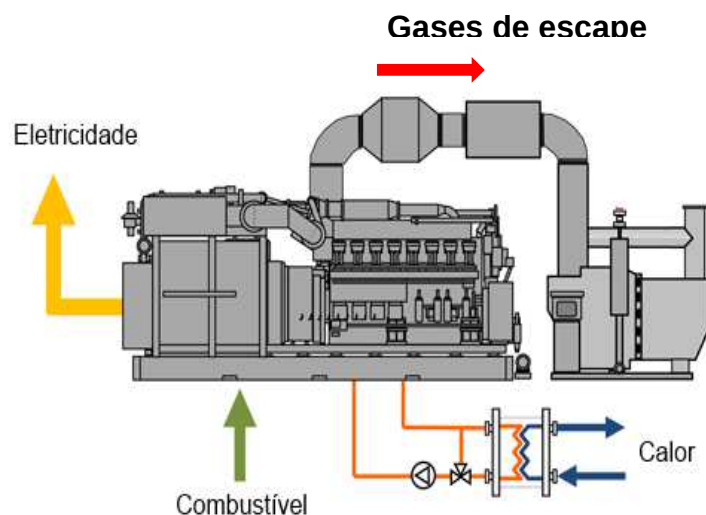


Figura 4 - Aproveitamento energético motor de combustão interna
 Fonte: Engenharia Sustentável - www.engenhariasustentavel.com.br

Existem uma gama de fabricantes de motogeradores ciclo Otto de diversas potências. A tabela 3 a seguir exemplifica os principais fabricantes e seu país de origem.

Fabricante	Capacidades	Origem
Caterpillar	65 a 6.520 kWe	EUA
Cummins	20 a 2.000 kWe	EUA
GE	250 a 3.000 kWe	EUA
Generac	22 a 300 kWe	EUA
Guascor	250 a 1.200 kWe	Espanha
Leon Heimer	14,8 a 451 kWe	Brasil
MWM	400 a 4.300 kWe	Alemanha
Wartsila	3.758 a 8.439 kWe	Finlândia
Yanmar	3,5 a 16 kWe	Japão

Tabela 3 - Principais fabricantes de motores de combustão interna ciclo Otto
 Fonte: ADNREOS (2013)

2.2.3. TURBINAS A GÁS

Turbinas a gás ou aero derivadas são equipamentos constituídos por compressor, câmara de combustão e turbina de expansão. O ar comprimido é injetado na câmara de combustão fornecendo oxigênio para a queima do combustível. A reação exotérmica à alta pressão transfere a energia proporcionada pela ignição para os gases, assim elevando a temperatura. O gás resultante é expandido na turbina e tal processo é direcionado ao eixo da mesma, assim, extraindo-se a energia mecânica. Turbinas a gás estão disponíveis no mercado em uma faixa de potência desde poucas centenas de kW até quase 300 kW (CARLOS ODONE; DOMINGOS, 2001).



Figura 5 - Detalhe interno de uma Turbina a gás

Fonte: Woodward GAP Software & Tools.

A figura 6 a seguir representa o aproveitamento energético e térmico para cogeração utilizando uma turbina a gás.

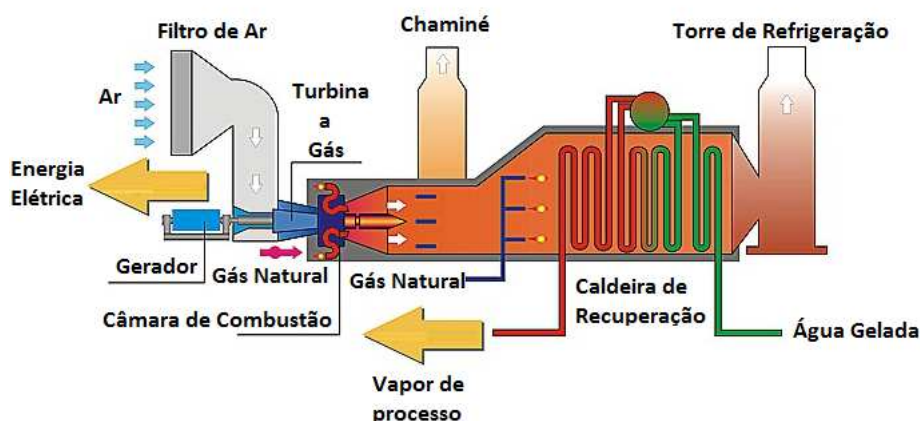


Figura 6 - Aproveitamento energético para cogeração utilizando turbina a gás

Fonte: Multiek Ingenieros – disponível em <http://www.multiekingenieros.com/microcogeneracion>. Adaptada.

Turbinas gás operam em ciclo Brayton com exemplifica a Figura 7 - Ciclo Brayton com Turbina gás - TG.

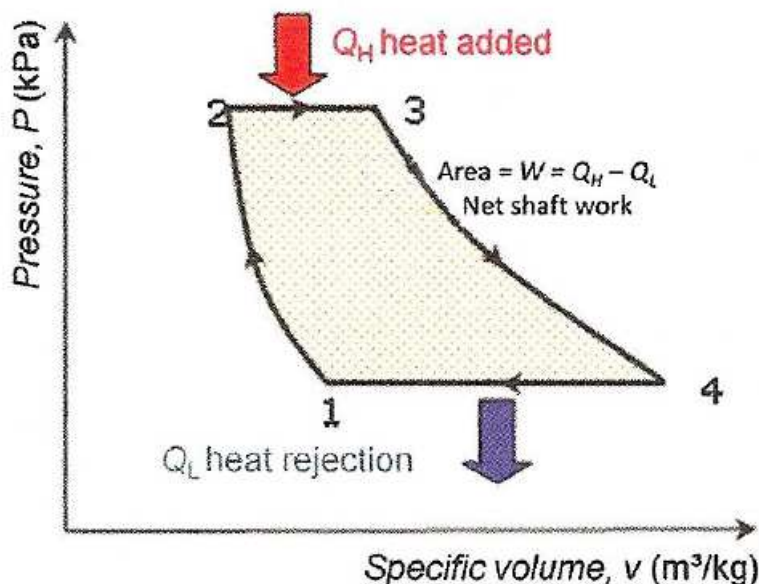


Figura 7 - Ciclo Brayton com Turbina gás - TG

Fonte: ANDREOS (2013)

Quando se dispõe de gás natural, uma boa solução para a cogeração é a utilização de uma turbina a gás. Nesta solução, a relação vapor-eletricidade pode se adaptar com maior flexibilidade às necessidades normais das indústrias pois uma usina dotada de turbinas é mais adequada a cargas lineares, ou seja, sem variações ou bruscos degraus de carga e também de uso contínuo, pois o equipamento é mais eficiente trabalhando de modo contínuo. O balanço da eficiência energética de uma turbina a gás para 100% de energia primária é de 30% de energia elétrica, 50% de energia térmica e 20% de perdas.

A qualidade do combustível queimado em uma turbina a gás causa impacto na vida útil e desempenho da turbina. Fabricantes da turbina estabelecem especificação do combustível, de modo a ajudar a garantir a confiabilidade, disponibilidade e durabilidade de suas turbinas. (MOREIRA, 2011).

A turbina leva vantagem do ponto de vista térmico na medida em que quase toda a energia disponibilizada pela queima do gás e não transformada em energia mecânica é descarregada nos gases, em maior temperatura do que nos motores a gás, pois uma das principais funções do ar é refrigerar o equipamento. Nelas, a temperatura dos gases exaustos fica na faixa de 450 a 900 °C, sendo que nos motores ela fica entre 300 e 500°C. (BRASIL, Newton Paterman) 2005.

2.2.4. TURBINA A VAPOR

A turbina a vapor aproveita a energia térmica do vapor na forma de entalpia e transforma em energia mecânica (ANDREOS, 2013).

Turbina a Vapor é a máquina térmica que utiliza a energia do vapor sob forma de energia cinética. Deve transformar em energia mecânica a energia contida no vapor vivo sob a forma de energia térmica e de pressão. Embora a história registre a construção de dispositivos rudimentares, que se baseavam nos mesmos princípios, de ação ou de reação, das turbinas atuais em épocas bastante remotas, o desenvolvimento da turbina a vapor, como um tipo realmente útil de acionador primário até a sua forma atual, ocorreu somente nos últimos setenta anos. A turbina é um motor rotativo que converte em energia mecânica a energia de uma corrente de água, vapor d'água ou gás. O elemento básico da turbina é a roda ou rotor, que conta com paletas, hélices, lâminas ou cubos colocados ao redor de sua circunferência, de forma que o fluido em movimento produza uma força tangencial que impulsiona a roda, fazendo-a girar. Essa energia mecânica é transferida através de um eixo para movimentar uma máquina, um compressor, um gerador elétrico ou uma hélice. As turbinas se classificam como hidráulicas ou de água, a vapor ou de combustão. Atualmente, a maior parte da energia elétrica mundial é produzida com o uso de geradores movidos por turbinas¹.

¹ Texto extraído do site: <https://fabioferrazdr.files.wordpress.com/2008/08/turbinas-a-vapor.pdf>. Acessado em 26-Maio-2015.

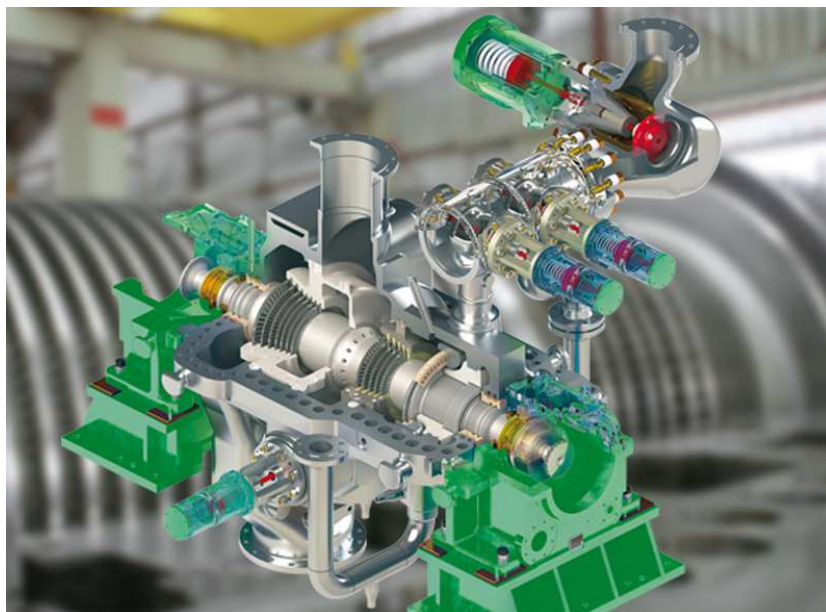


Figura 8 - Modelo de Turbina Vapor – TV

Fonte: Catálogo TGM - <http://www.grupotgm.com.br>

As turbinas a vapor operam em ciclo Rankine, Sendo no ciclo de Rankine a eficiência elétrica é de 36 – 38% e em cogeração pode chegar a 77,6 % a 82,5 %.

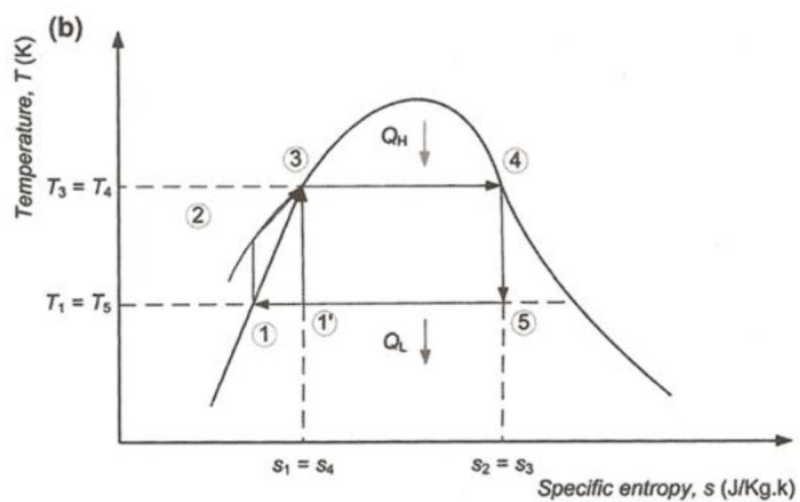


Figura 9 - Diagrama Ciclo Rankine

Fonte: Material de aula 1 – ER003

A figura 10 ilustra uma configuração com uma turbina a vapor ciclo Rankine operando em cogeração *Bottoming*.

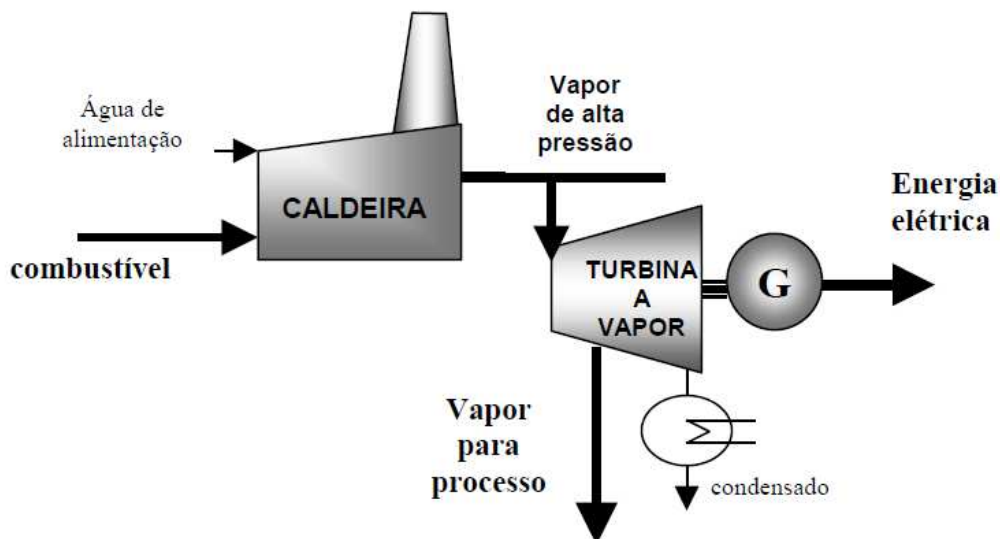


Figura 10 - Cogeração com Turbina a Vapor – TV Ciclo Rankine

Fonte: (BRASIL, Newton Paterman),2005.

Os sistemas de cogeração apresentam como principal vantagem, a economia de investimentos em transmissão e distribuição de energia, e a sua elevada eficiência energética, quando comparado aos sistemas tradicionais de geração de eletricidade através de termelétricas. (COGEN,2015).

A tabela 4 a seguir exemplifica o aumento de eficiência.

Ciclo	Otto ou Diesel	Rankine	Brayton	Combinado
Termelétrico	40 a 46%	30 a 45%	35 a 45%	57%
Cogeração	62%	50%	70 a 75%	70 a 75%

Tabela 4 - Comparação de eficiência entre sistema termelétrico com cogeração

Fonte: COGEN, 2015. Adaptada.

2.2.5. MICRO TURBINA A GAS - μ TG

As micro turbinas a gás são as TG em menor escala e sua capacidade de geração elétrica varia 30 a 250kWe, e através de combinações de módulos podem chegar 1.000 kWe. As micro turbinas operam em altas rotações chegando a 90.000 rpm. Podem ser usadas somente na geração de energia elétrica ou associada a outros equipamentos, permitindo o aproveitamento de rejeito térmico dos gases de exaustão configurando o sistema de cogeração de energia “ *Combined Heat and Power* (CHP). (ANDREOS, 2013).

Os combustíveis aplicáveis são basicamente o gás natural GN, GLP ou gás liquefeito de petróleo ou combustíveis líquidos tradicionais como gasolina, querosene e óleo diesel.

Sua configuração é diferente comparada as turbinas a gás tradicionais, pois possui certas características como abaixo:

- Sistema modular compacto com baixo nível de ruído
 - Controle de paralelismo de energia elétrica incorporado (USCA).
 - Custos com manutenção menor comparado ao MCI, porém o custo de aquisição é maior.
 - Recuperador de calor para produção de água quente incorporado.
- (ANDREOS,2013).

A figura 11 a seguir demonstra uma Micro-Turbina μ TG de 30 kW do fabricante Capstone.

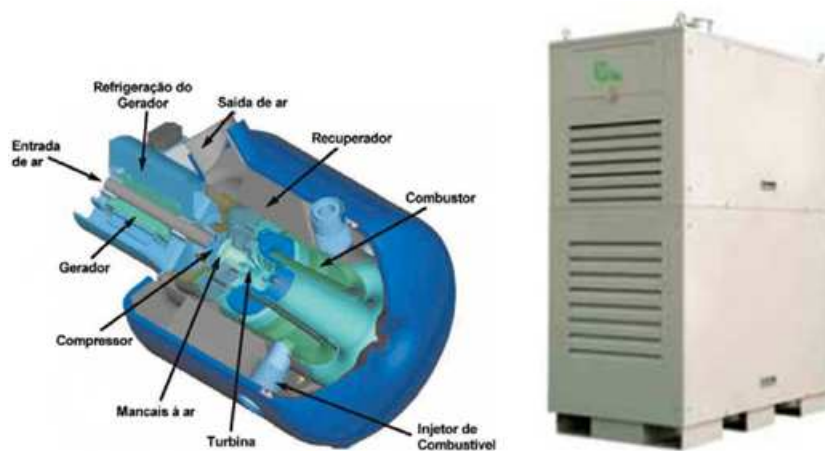


Figura 11 - Micro-Turbina Capstone 30 kW

Fonte: Catálogo Capstone turbine - <http://www.capstoneturbine.com>

Cada tecnologia possui suas vantagens e desvantagens e a tabela 5 a seguir resume e apresenta as principais.

Sistema	Vantagens	Desvantagens	Pot. Geração Energia El.
Turbina a Gás	Alta confiabilidade;	Requer gás a alta pressão ou compressor de gás;	500 a 2.500 kW
	Baixa emissão de gases poluentes;	Baixa eficiência com carga parcial;	
	Grande quantidade de energia térmica disponível;	Rendimento depende das condições do ambiente;	
	Não necessita sistema de refrigeração;	Tempo de instalação é alto;	
Microturbina	Menor número de partes móveis (baixo desgaste);	Alto custo inicial;	30 a 250 kW
	Pequenas dimensões e baixo peso;	Relativamente baixo rendimento mecânico;	
	Baixa emissão de gases poluentes;	Limitada a sistemas de cogeração de baixa temperatura;	
	Não necessita sistema de refrigeração;		
	Tempo de instalação é baixo;		
Motor a Combustão Interna (Ciclos Otto e Diesel)	Alta eficiência e possibilidade de operar com carga parcial;	Alto custo de manutenção;	Ciclo Otto até 8 MW
	Partida rápida;	Limitado a sistemas de cogeração de baixa temperatura;	
	Relativamente baixo custo de investimento;	Alta taxa de emissão de gases poluentes (ciclo diesel);	Ciclo Diesel 4 a 80 MW
	Pode ser usado em locais remotos;	Requer sistema de refrigeração;	
	Utiliza gás em baixa pressão;	Alto nível de ruído;	
Turbina a Vapor	Alta eficiência;	Partida lenta;	50 kW a 250 MW
	Flexibilidade de combustíveis;	Alto custo de investimento;	
	Capaz de atender a grandes demandas de calor;	Operação precisa de pessoal especializado;	
	Vida útil longa e de alta confiabilidade;		
	Flexibilidade na relação potência/calor;		

Tabela 5 - Resumo das principais tecnologias de cogeração e características

Fonte: (ANDREOS,2013). Adaptada

2.3. CONFIGURAÇÕES BÁSICAS DE COGERAÇÃO

2.3.1. CICLO TOPPING

Na cogeração de ciclo *Topping* o foco principal é a geração de energia elétrica e com a exaustão do sistema, obtém-se a recuperação térmica, em outras palavras, a fonte de energia principal é transformada em energia mecânica por meio de combustão, assim movendo um alternador e por fim produzindo a energia elétrica. Os gases ou a energia de exaustão é recuperado para ser aproveitado em diversos processos. A figura 12 a seguir demonstra um diagrama em blocos para uma configuração ciclo *Topping*.

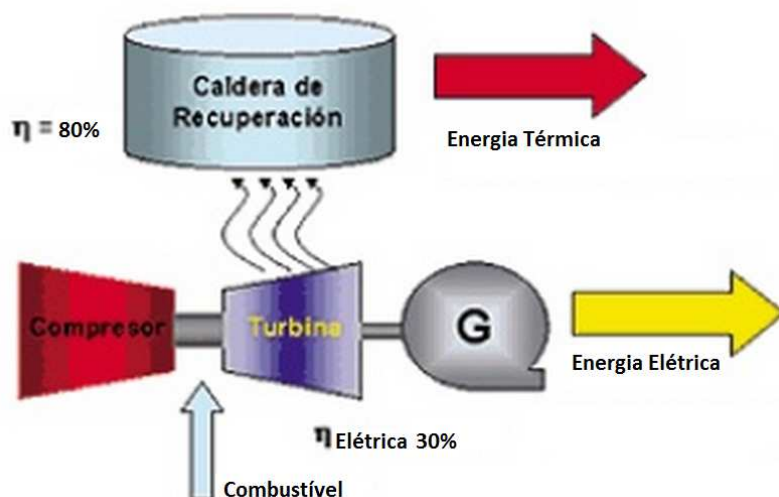


Figura 12 - Cogeração Ciclo Topping

Fonte: Fuentes de Energia No Renovables- <http://es.slideshare.net> Adaptada

2.3.2. CICLO BOTTOMING

Na cogeração de ciclo *Bottoming* o foco principal é a geração de energia térmica e essa energia é utilizada como energia para alimentar uma turbina a vapor, e por fim, a mesma girar um alternador e produzir energia elétrica. Essa configuração é muito utilizada em usinas de açúcar e álcool onde a biomassa é queimada em uma caldeira, assim produzindo primeiramente a energia térmica, para posteriormente produzir vapor e alimentar a turbina da usina. A figura 13 a seguir demonstra um diagrama em blocos para uma configuração ciclo *Bottoming*.

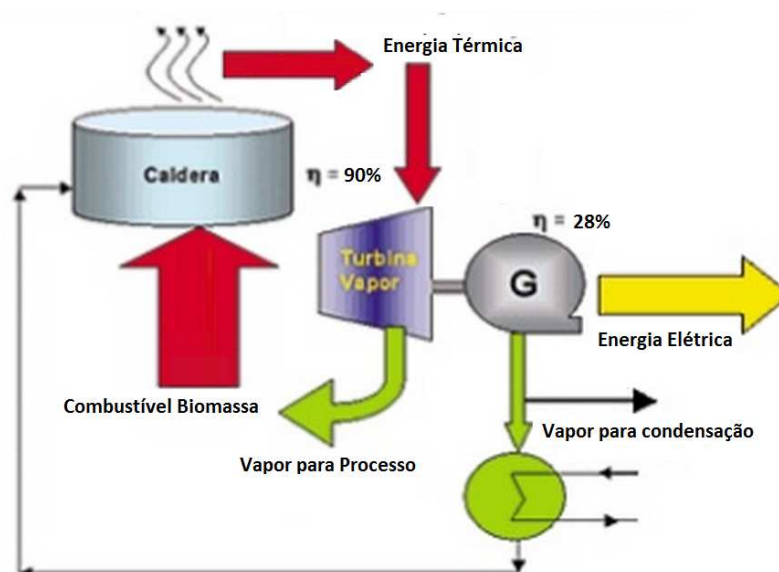


Figura 13 - Cogeração Ciclo Bottoming

Fonte: Fuentes de Energia No Renovables- <http://es.slideshare.net> Adaptada

Tanto utilizando motores de combustão interna ou turbinas gás, pode-se montar um sistema de cogeração ciclo *Topping*, onde com equipamentos adjacentes utilizados com base em um balanço energético para a cogeração além de gerar a energia elétrica para o edifício comercial, são captados os gases de escape da usina e direcionando os mesmos para um sistema com um *chiller* por absorção obtém-se água gelada para o sistema de ar condicionado do edifício comercial e proveniente do trocador de calor, pode se obter também água quente para o mesmo edifício, assim elevando a eficiência do sistema utilizando apenas como combustível uma fonte, onde neste caso é o gás natural. A figura 14 abaixo mostra um sistema *Topping* utilizando um motor Otto de combustão interna e a figura 15 demonstra o mesmo ciclo utilizando uma turbina a gás ciclo Brayton.

COGERAÇÃO DE ENERGIA Configuração Comercial Típica

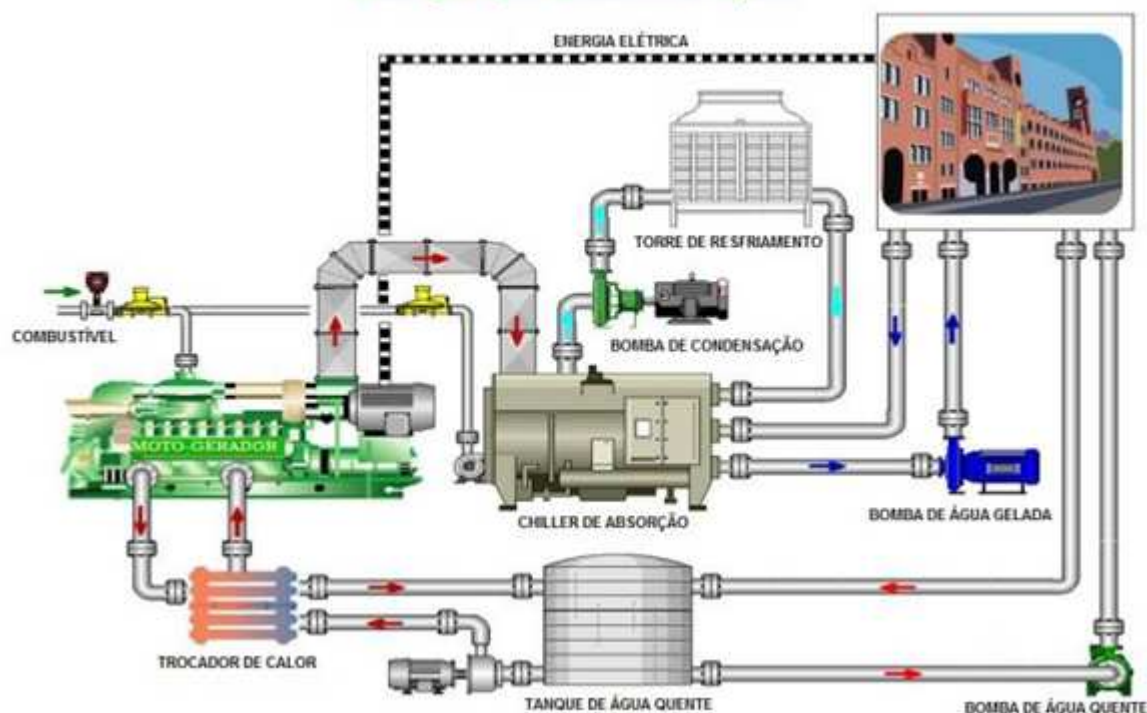


Figura 14 - Típica configuração comercial com motor ciclo Otto

Fonte: Cogeração energia - www.cogeracao.com.br

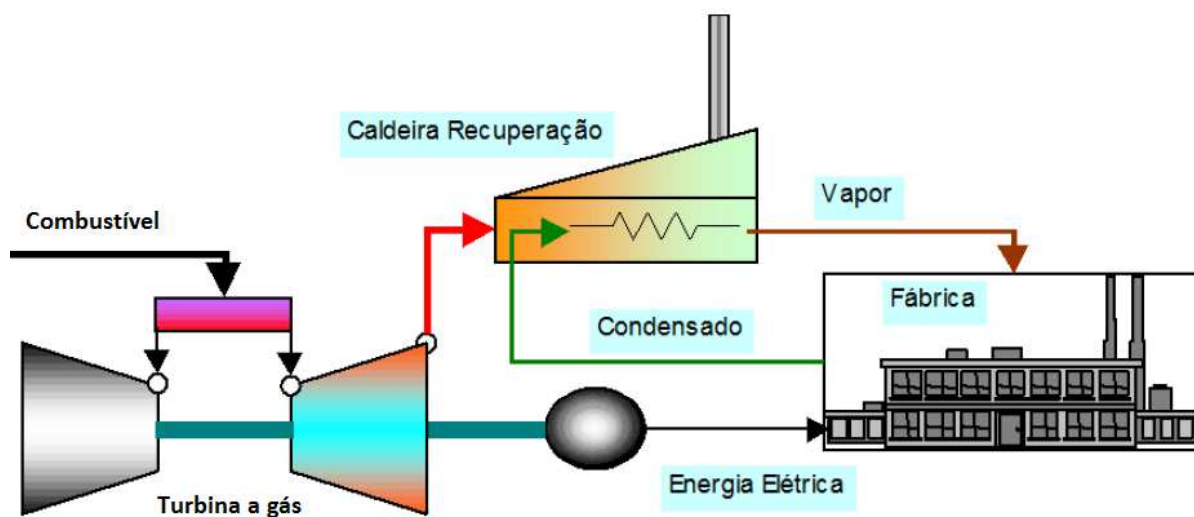


Figura 15 - Configuração industrial com turbina a gás-Topping

Fonte: Cogeração: Uma alternativa para produção de eletricidade (CARLOS ODONE; DOMINGOS,2001)

2.4. COMBUSTÍVEIS APLICÁVEIS

Os combustíveis aplicáveis na cogeração dependem da localização onde a usina de cogeração é instalada ou a aplicação planta.

Os combustíveis aplicáveis são:

Combustíveis sólidos:

- Biomassa (bagaço e palha de cana-de-açúcar), lenha, pallets de madeira, carvão;
- Baixo custo unitário (normalmente resíduo de processo);
- Empregados em Ciclo *Bottoming*;
- Grande oportunidade para geração em Usinas de Açúcar. ²

Em grandes usinas de açúcar e álcool o combustível utilizado para cogeração é a biomassa, onde para essa aplicação trata-se do bagaço de cana de açúcar, onde o mesmo é queimado em uma caldeira e o vapor gerado é utilizado para girar uma turbina a vapor ciclo Rankine e assim produzir energia elétrica.

Combustíveis líquidos:

- Derivados de petróleo (óleo combustível, diesel), de difícil viabilidade econômica;
- Biocombustíveis (etanol e biodiesel)
- Resíduos de processo (licor negro) alta viabilidade em ciclo *bottoming*.

Combustíveis gasosos:

- Gás Natural – grande viabilidade, mais usual;
- Biogás (em crescimento);
- Resíduo de processo (gás de coqueria, gás de alto forno, gás de refinaria, etc.);
- Maior diversidade de soluções, maior viabilidade técnica e econômica. ³

² Texto extraído do material de aula ERG003 – COGERAÇÃO – Aula 3 – 2014 – Professor ANDREOS, Ronaldo

³ Texto extraído do material de aula ERG003 – COGERAÇÃO – Aula 3 - 2014 – Professor ANDREOS, Ronaldo

Em locais onde há a disponibilidade de gás natural, aplicando o ciclo *Topping* há a possibilidade de uma usina de geração de energia elétrica sendo por meio de motores ciclo Otto ou por turbinas gas clico Brayton, assim com o aproveitamento dos gases de exaustão obtém-se energia térmica para aproveitamento industrial ou comercial.

2.5. FATOR DE UTILIZAÇÃO DE ENERGIA

O nível de aproveitamento de energia primária em uma planta de cogeração pode ser definido pela equação do fator de utilização de energia FUE.

$$FUE = \frac{W + Qu}{m \times PCI} \quad (1)$$

Onde

- W = Potência de eixo produzida pela máquina (kW).
- Qu = Taxa de calor útil produzido ou recuperado (kW).
- PCI = Poder calorífico inferior do combustível (kJ/kg).
- m = Vazão mássica de combustível (kg/s).

As plantas de cogeração podem ter diversos balanços energéticos e configurações, o principal objetivo em termos de aproveitamento térmico é desenvolver uma configuração em que o fator de utilização e energia (FUE) se aproxime do ideal 100%, em geral o FUE pode chegar a 85% (ANDREOS, 2013).

3. GÁS NATURAL

3.1. PROPRIEDADES

Assim como os demais combustíveis fósseis como por exemplo o petróleo, o gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos gasosos oriundos da decomposição de matéria orgânica ao longo de milhões de anos sendo encontrado principalmente em poços de petróleo ou associados, onde em temperatura ambiente e pressão atmosférica permanece em sua forma gasosa sendo inodoro, incolor e mais leve que o ar.

Sua composição principal é o Metano CH_4 , ainda com variações de Etano C_2H_6 , Propano C_3H_8 , Butano C_4H_{10} , assim como de hidrocarbonetos mais pesados e também Dióxido de Carbono CO_2 , Nitrogênio N_2 e outras impurezas. Os maiores teores de carbono são encontrados no gás natural não-associado.

As principais propriedades do gás natural são a sua densidade em relação ao ar, o poder calorífico, o índice de Wobbe, o ponto de orvalho da água e dos hidrocarbonetos e os teores de dióxido de carbono CO_2 , hidrogênio, oxigênio e compostos sulfurosos. Outras características intrínsecas importantes são os baixos índices de emissão de poluentes, em comparação a outros combustíveis fósseis, rápida dispersão em caso de vazamentos, os baixos índices de odor e de contaminantes. Ainda, em relação a outros combustíveis fósseis, o gás natural apresenta maior flexibilidade, tanto em termos de transporte como de aproveitamento (ANEEL, 2000).

A tabela 06 a seguir exemplifica de modo mais claro a composição do gás natural sendo, Associado, Não Associado e Processado.

Composição Típica do Gás Natural			
Elementos	Associado ⁽¹⁾	Não Associado⁽²⁾	Processado⁽³⁾
Metano	81.57	85.48	88.56
Etano	9.17	8.26	9.17
Propano	5.13	3.06	0.42
I-Butano	0.94	0.47	-
N-Butano	1.45	0.85	-
I-Pentano	0.26	0.2	-
N-Pentano	0.3	0.24	-
Hexano	0.15	0.21	-
Heptano e Maiores	0.12	0.06	-
Nitrogênio	0.52	0.53	1.2
Dióxido de Carbono	0.39	0.64	0.65
Total	100	100	100
Densidade	0.71	0.69	0.61
Poder Calorif. Inf. (Kcal/m ³)	9916	9583	8621
Poder Calorif. Super. (Kcal/m ³)	10941	10580	9549

Tabela 6 - Composição típica do gás natural

Fonte: PETROBRAS – CONPET 1997 – Seminário de Gás

3.1.1. GÁS ASSOCIADO

O gás associado assim como ilustrado na figura 16 é aquele que se encontra dissolvido no reservatório de petróleo ou sob a forma de uma capa de gás. Neste caso, primeiramente se utiliza a produção inicial do óleo, utilizando-se do gás para manter a pressão do reservatório.

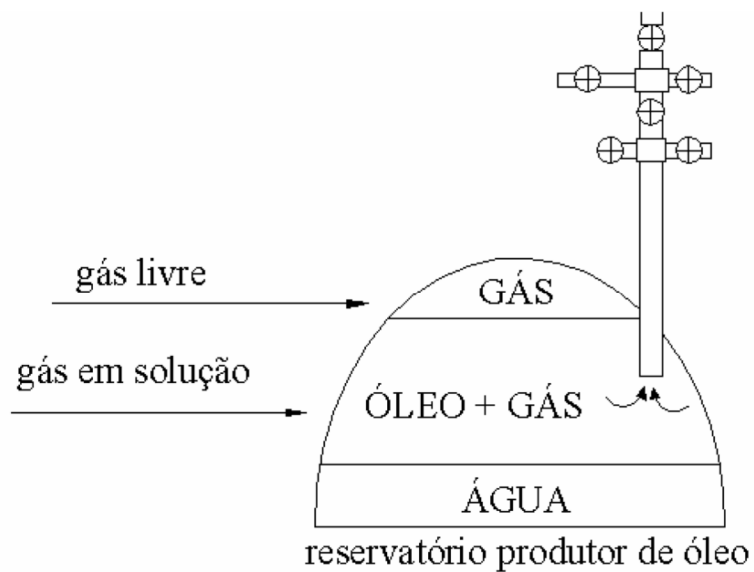


Figura 16 - Gás Associado

Fonte: PETROBRAS – Seminário de Gás.

3.1.2. GÁS NÃO ASSOCIADO

O gás não-associado assim como ilustrado na figura 17 é aquele que está livre do óleo e da água no reservatório e sua concentração é predominante na camada rochosa, permitindo a produção basicamente de gás natural.

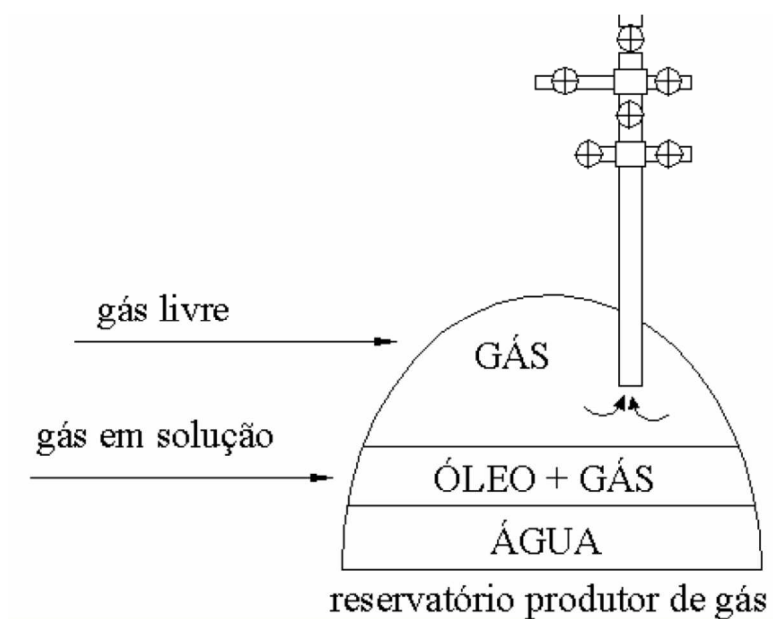


Figura 17 - Gás Não Associado

Fonte: PETROBRAS – Seminário de Gás.

3.2. EXPLORAÇÃO, PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO

3.2.1. EXPLORAÇÃO

Mundialmente a maior reserva provada de gás natural fica na Rússia, com um percentual de 27% do total mundial, seguida pelo Irã com 15% e Qatar com 14% já na América Latina, as maiores reservas estão localizadas na Venezuela com 2,4% e na Bolívia 0,7%.

O Brasil possui 0,2% do total das reservas provadas de gás natural no mundo e está na 39ª posição no ranking mundial como podemos verificar na tabela 7 a seguir.

Países	Trilhões em metros cúbicos
1º Rússia	48676 m ³
2º Irã	33780 m ³
3º Qatar	25069 m ³
4º Turcomenistão	10 m ³
5º Estados Unidos	8910 m ³
6º Arábia Saudita	8235 m ³
7º Em. Árabes	6091 m ³
8º Venezuela	5563 m ³
9º Nigéria	5118 m ³
10º Argélia	4504 m ³
32º Brasil	0,43 m ³

Tabela 7 – Reservas provadas de gás natural em 2012

Fonte: ABEGÁS, 2015. Adaptada

As reservas de gás natural brasileiras estão aproximadamente 77% concentradas no mar, com isso denomina-se exploração *offshore* como ilustrado na figura 18. Essa forma de exploração ocorre em diversos pontos da costa brasileira, no entanto a região Sudeste se sobressai às outras com 67% do contingente, tendo como campos de exploração as Bacias de Campos, Espírito Santo e Santos, onde as mesmas ficam próximas do grande centro de consumo do Brasil, ou seja, a própria região sudeste, em destaque para os estados de São Paulo e Rio de Janeiro.

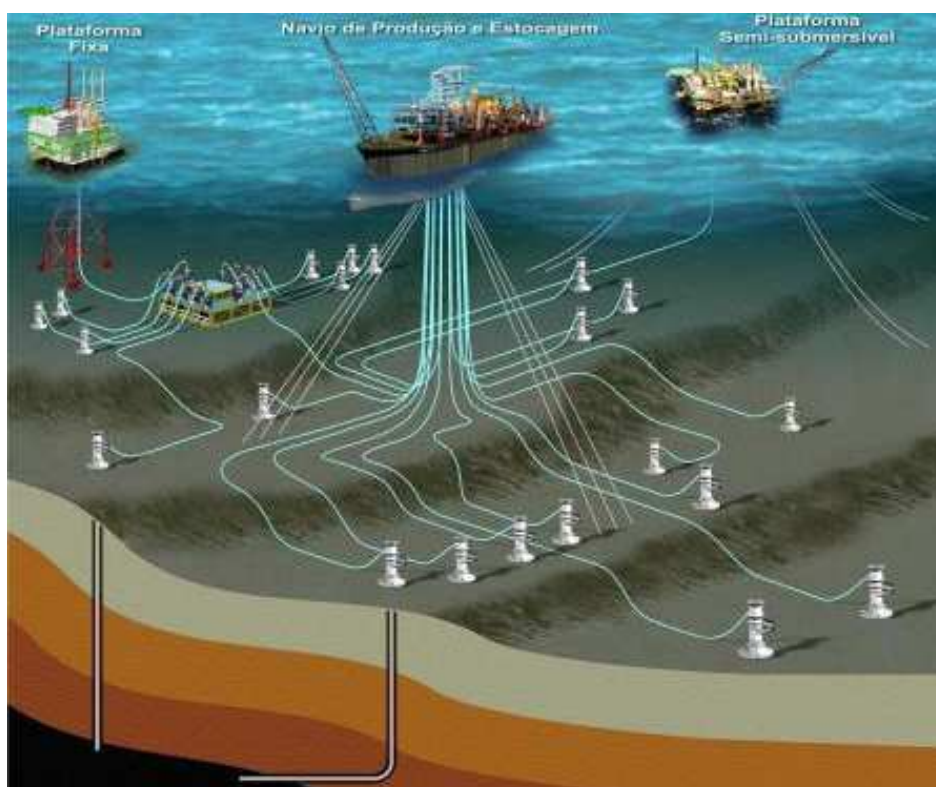


Figura 18 - Exploração de gás natural Offshore

Fonte: Diário do Pré-sal – <https://diariodopresal.wordpress.com>

As demais regiões praticam a exploração em terra ou comumente chamada exploração *Onshore* como ilustra a figura 19.

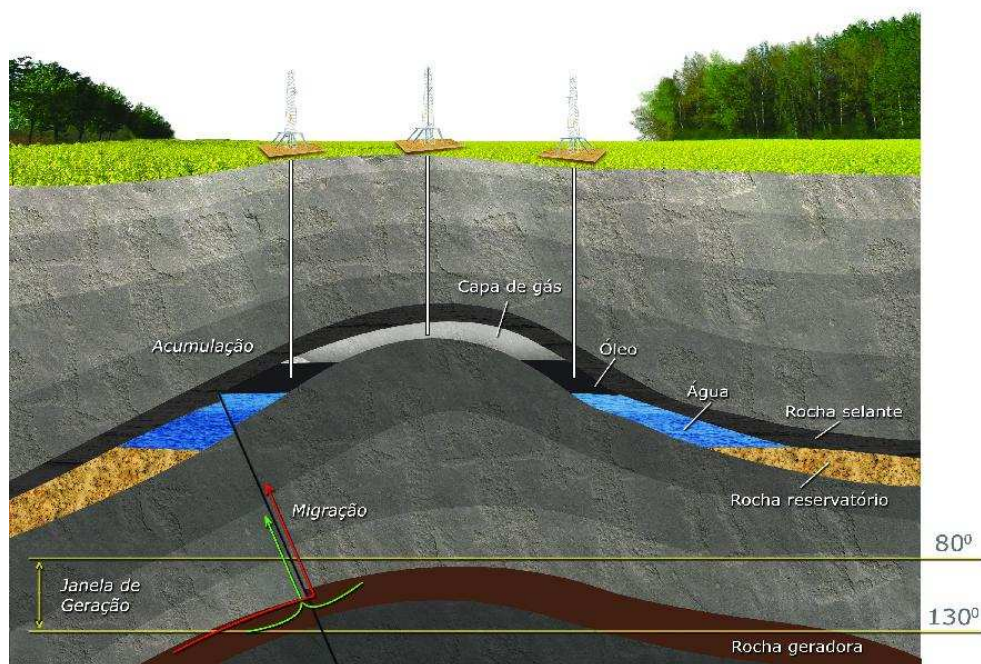


Figura 19 - Exploração de gás natural Onshore

Fonte: Diário do Pré-sal – <https://diariodopresal.wordpress.com>

A região norte possui uma grande reserva concentrada na Bacia do Rio Solimões, localizada entre os Rios Urucu e Juruá como ilustrado na figura 20 a seguir.

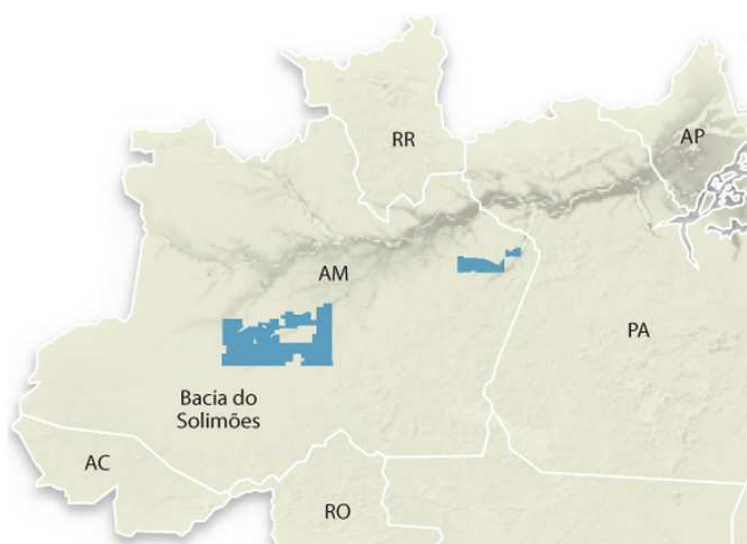


Figura 20 - Área da Bacia do Rio Solimões

Fonte: Diário do Pré-sal – <https://oglobo.com>. Adaptada.

3.2.2. PRODUÇÃO

Após a exploração, para a produção do gás natural há a necessidade de um tratamento do mesmo, passando-o por equipamentos projetados para retirar a água, os hidrocarbonetos que estiverem em estado líquido e as partículas. Se estiver contaminado por compostos de Enxofre S, o gás é enviado para unidades de dessulfurização para retirada desse composto. Após essa etapa, uma parte do gás é utilizada no próprio sistema de produção, em processos conhecidos como reinjeção e gás *lift* quando o mesmo é encontrado juntamente com o petróleo do reservatório. O restante do gás é enviado para processamento, sendo a separação de seus componentes em produtos especificados e prontos para utilização.

A produção do gás natural pode ocorrer em regiões distantes dos centros de consumo e, muitas vezes, de difícil acesso, como, por exemplo, a floresta amazônica ou uma plataforma offshore.

Em plataformas marítimas, por exemplo, o gás deve ser desidratado antes de ser enviado para terra, para evitar a formação de hidratos, que são compostos sólidos que podem obstruir os gasodutos. Outra situação que pode ocorrer é a reinjeção do gás para armazenamento no reservatório se não houver consumo para o mesmo, como na Amazônia. Atualmente, dez estados da Federação possuem sistemas de produção de gás natural, sendo o Rio de Janeiro o maior deles (COMPET - Programa Nacional da Racionalização do Uso dos derivados do petróleo e do gás natural)⁴

A produção diária de gás natural no Brasil no período de 2004 à 2013 apresentou um crescimento de 66%, passando de uma média diária de 46,369 milhões de m³ em 2004 para 77,189 milhões de m³ em 2013. O crescimento da produção ocorreu principalmente, devido ao aumento da exploração e produção *off-shore*, com uma elevação de 225% durante esse período. (ANP, 2014).

⁴ Texto extraído do material de aula ERG003 – COGERAÇÃO – Aula 3 - 2014 – Professor ANDREOS, Ronaldo

A figura 21 a seguir demonstra um gráfico com a evolução da produção dentro do período de 10 anos, sendo de 2004 à 2013.

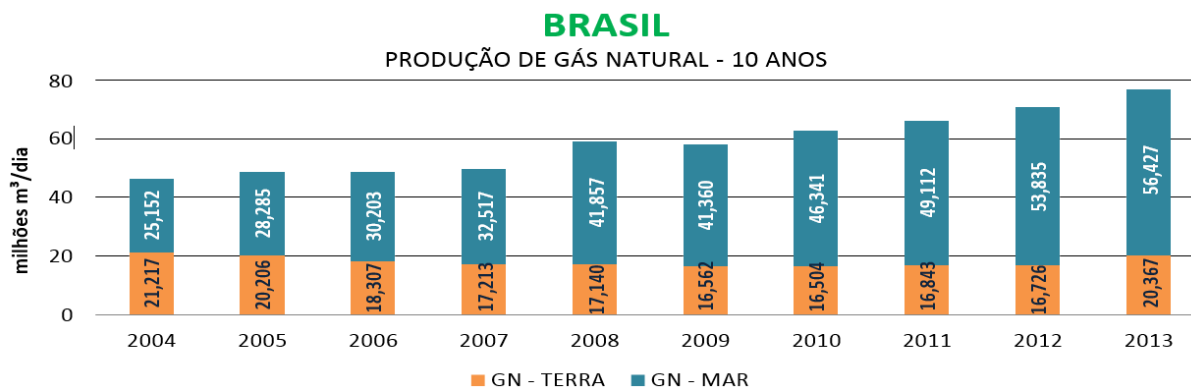


Figura 21 - Produção de gás natural nos últimos 10 anos

Fonte: ANP, MME, 2014

3.2.3. DISTRIBUIÇÃO

A infraestrutura de gás natural no Brasil foi construída ao longo da costa do país. O sistema de transporte de gás é composto de duas artérias/gasodutos principais sendo o sistema Bolívia-Rio Grande do Sul e o sistema São Paulo/ Rio / Espírito Santo, interligado ao sistema nordeste através do gasoduto Gasene. A região Norte conta com um único gasoduto isolado interligando os campos terrestres de Urucu e Coari a Manaus. (ABEGÁS, 2015).

A figura 22 a seguir ilustra a rede de gasodutos em operação, em estudo, implementação e o gasoduto internacional Bolívia – Brasil.



Figura 22 - Rede gasodutos Brasil.

Fonte: ABEGÁS, 2015

Gasodutos em Operação

- Gasoduto Urucu – Coari: capacidade de transporte de 5,5 milhões de m³/dia e extensão de 280 Km. Concluído em 1998.
- Gasoduto Coari – Manaus: capacidade de transporte de 5,5 milhões de m³/dia e extensão de 383 Km.
- GASFOR (Gasoduto Guamaré – Pecém): capacidade de transporte de 292 milhões de m³/dia, extensão de 383 Km. Abastece os municípios cearenses de Icapuí, Horizonte e Maracanaú com o Gás Natural de Guamaré (RN).
- NORDESTÃO I (Gasoduto Guamaré – Cabo): capacidade de transporte de 313 milhões de m³/ano, extensão de 424 Km. Abastece um total de 11 municípios dos

Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco com o Gás Natural processado em Guamaré (RN).

- GASALP (Gasoduto Alagoas – Pernambuco): capacidade de transporte de 2 milhões de m³/dia, extensão de 204 Km. Em atividades desde 1999, abastece o município de Cabo (PE) com o Gás Natural de Pilar (Alagoas).
- Gasoduto Lagoa Parda – Vitória: capacidade de transporte de 365 milhões de m³/ano, extensão de 100 Km. Em atividades desde 1984, abastece os municípios de Aracruz, Serra e Vitória com o Gás Natural de Lagoa Parda.
- GASENE (Gasoduto Sudeste – Nordeste): capacidade de transporte de 20 milhões de m³/dia, extensão de 1200 Km, interligando da estação de processamento de gás de Cabiúnas (RJ) a Vitória (ES), de Vitória a Cacimbas (ES) e de Cacimbas a Catu (BA).

Gasodutos em Estudo

- Gasoduto São Carlos – BH: capacidade de transporte de 7,5 milhões de m³/dia, extensão de 550 Km. Tem início na estação de compressão do GASBOL, em São Carlos (SP), e termina em Belo Horizonte, onde se interliga com o GASBEL.
- Gasoduto REDUC (Gasoduto Refinaria Duque de Caxias): capacidade de transporte de 1,5 bilhão de m³/ano, extensão de 183 Km. Em atividades desde 1982, abastece o Estado do Rio de Janeiro com o Gás Natural da Bacia de Campos.
- GASVOL (Gasoduto Reduc – Esvol): capacidade de transporte de 1,5 bilhão de m³/dia, extensão de 95,2 Km. Em atividades desde 1986, leva Gás Natural de Duque de Caxias ao gasoduto que interliga Volta Redonda (RJ) a São Paulo.
- GASBEL/BH (Gasoduto REDUC – REGAP): capacidade de transporte de 712 milhões de m³/ano, extensão de 357 Km. Em atividades desde 1996, abastece os municípios mineiros de Belo Horizonte, Juiz de Fora e Betim com o Gás Natural processado na Refinaria Duque de Caxias.
- Gasoduto ESVOL – São Paulo: capacidade de transporte de 1,5 bilhão de m³/ano, extensão de 325,7 Km. Em atividades desde 1988, abastece vários municípios situados no trajeto Volta Redonda e Capuava com o Gás Natural da Bacia de Campos

- Gasoduto Uruguaiana – Porto Alegre: capacidade de transporte de 1,5 bilhão de m³/ano, extensão de 605 Km. Nas proximidades de Porto Alegre, o gasoduto será interligado ao GASBOL, contribuindo com o abastecimento das regiões Sudeste e Sul.
- Gasoduto Urucu – Porto Velho: capacidade de transporte de 2,3 milhões de m³/dia, extensão de 530 km. A bacia de Urucu produz, aproximadamente, 10 milhões de m³/dia, que correspondem a 30% do Gás Natural importado da Bolívia.
- Gasoduto Urucu – Porto Velho: vai de Urucu/ AM a Porto Velho/RO, com extensão de 537,8 Km e capacidade de 2,5 milhões m³/dia.
- Gasoduto Juruá – Urucu: liga Juruá (município de Carauari/AM) a Urucu (município de Coari/AM), com extensão de 120 Km.
- Gasoduto do Centro Norte: vai ligar Anápolis/GO a Imperatriz/MA, com extensão de 1.687 km e capacidade para 4 milhões m³/dia
- Gasoduto Meio Norte: de Caucaia/CE a São Luis/MA, com extensão de 948 Km e capacidade de 6 milhões m³/dia.
- Gasoduto do Pará: de Açailândia/MA a Belém/PA, com capacidade de 3,5 milhões m³/dia e extensão de 774 Km.
- Gasoduto do Brasil Central: com extensão de 903 Km e capacidade de 5,7 milhões m³/dia, vai ligar São Carlos/SP a Brasília/DF

Gasodutos em Implantação

- Gasoduto Campinas – Rio: capacidade de transporte de 8,6 milhões de m³/dia, extensão de 500 Km. Integrante do Projeto Malhas, interligará as regiões Sudeste, Nordeste, Centro e Sul do país, permitindo também o escoamento do gás produzido na Bacia de Campos aos municípios atendidos hoje somente pelo GASBOL.
- NORDESTÃO II: extensão de 554,3 Km. O gasoduto sairá de Mossoró e alcançará o município de Marechal Deodoro (Al), passando por quatro Estados do Nordeste.

Outras Companhias

- São Miguel (BO) – Cuiabá (MT): capacidade de transporte de 14,9 milhões de m³/dia, extensão de 680 Km. Vindo da estação de medição San Matias, passa

pelos municípios brasileiros de Cáceres e outros, chegando a Cuiabá, abastecendo assim a Usina Termelétrica Mário Covas.

Gasoduto Bolívia – Brasil

- GASBOL – Mato Grosso do Sul: extensão de 717 Km.
- GASBOL – São Paulo: extensão de 1042 Km.
- GASBOL – Paraná: extensão de 207 Km.
- GASBOL – Santa Catarina: extensão de 447 Km.
- GASBOL – Rio Grande do Sul: extensão de 184 Km.⁵

Assim como para energia elétrica, a distribuição da oferta de gás natural no país se dá por meio de concessionárias de gás natural ou comumente chamadas de distribuidoras. Atualmente existem 26 concessionárias distribuídas em várias regiões do país como pode ser visualizado na figura 23 a seguir.



Figura 23 - Concessionárias de GN – Brasil.

Fonte: ABEGÁS, 2015. Adaptada

⁵ Texto e informações extraídos – ABEGÁS, 2015 – Gasodutos – disponível em http://www.abegas.org.br/Site/?page_id=842. Acessado em 04-06-2015.

Em 2012, as concessionárias de gás canalizado continuaram investindo em infraestrutura para aumentar a disponibilidade de distribuição do gás natural à um número maior de consumidores, assim a extensão das redes de distribuição ultrapassou os 22.700 km, significando um incremento de 8,8% em relação ao ano anterior. Já em 2014, o sistema de distribuição de gás canalizado alcançou o patamar de 26.300 km, onde 66% estavam concentrados em dois estados, sendo São Paulo com 14.512 km e Rio de Janeiro com 5.121 km. Dentro do período de 2003 à 2014, as concessionárias de gás canalizado construíram aproximadamente 16.944 km de redes de distribuição de gás natural. (ABEGÁS, 2014).

O número de consumidores espalhados por todo o Brasil e distribuídos em todos os segmentos de consumo, atualmente somam mais de 2,2 milhões e o crescimento acumulado do número de consumidores durante o período de 2011 para 2012 foi também de 8,8% e até 2020 o número de consumidores de gás canalizado deverá chegar a aproximadamente 3,2 milhões e as redes de distribuição deverão totalizar aproximadamente 37400 km, com investimentos por parte das concessionárias de cerca de R\$ 2 bilhões por ano. (ABEGÁS, 2015)

3.3. OFERTA BRASILEIRA DE GÁS NATURAL

Atualmente o gás natural ofertado no Brasil tem origem na produção nacional mediante as explorações *onshore* e *offshore* de gás natural associado e não associado vindo das bacias do Solimões e ao longo da costa do Brasil com destaque para as bacias de Campos, Espírito Santo e Santos.

3.3.1. PRÉ SAL

O pré-sal é uma sequência de rochas sedimentares formadas há mais de 100 milhões de anos no espaço geográfico criado pela separação do antigo continente *Gondwana*. Mais especificamente, pela separação dos atuais continentes Americano e Africano, que começou há cerca de 150 milhões de anos. Entre os dois continentes formaram-se, inicialmente, grandes depressões, que deram origem a grandes lagos. Ali foram depositadas, ao longo de milhões de anos, as rochas geradoras de petróleo

do pré-sal. Como todos os rios dos continentes que se separavam corriam para as regiões mais baixas, grandes volumes de matéria orgânica foram ali se depositando.

À medida que os continentes se distanciavam, os materiais orgânicos então acumulados nesse novo espaço foram sendo cobertos pelas águas do Oceano Atlântico, que então se formava. Dava-se início, ali, à formação de uma camada de sal que atualmente chega até 2 mil metros de espessura. Essa camada de sal depositou-se sobre a matéria orgânica acumulada, retendo-a por milhões de anos, até que processos termoquímicos a transformasse em hidrocarbonetos (petróleo e gás natural).⁶

Considerada exploração em águas ultra profundas com reservatórios situados em 5000 à 7000 metros abaixo do nível do mar e com lâmina d'água que podem superar 2000 metros (ANDREOS, 2013). Conforme Figura 24 a seguir.

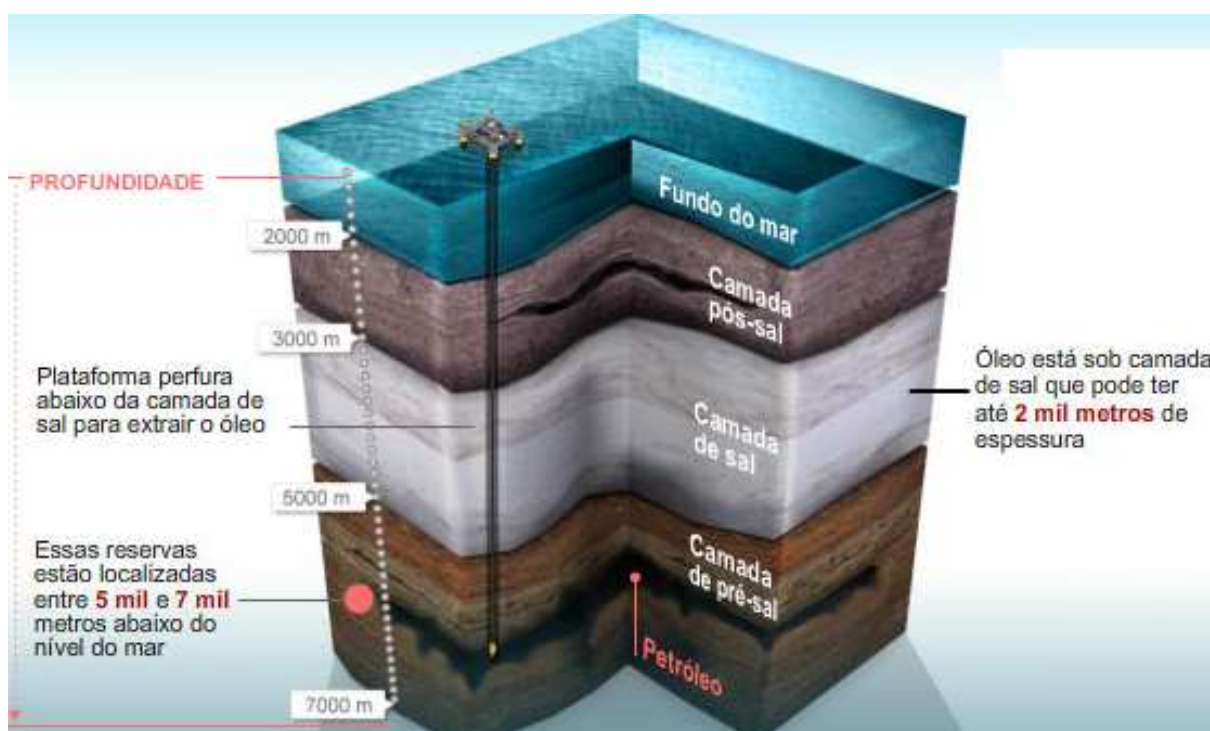


Figura 24 - Profundidade Pré-Sal

Fonte: Poder Naval. Disponível em <http://www.naval.com.br/>. Adaptada

⁶ Texto extraído do site: <http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas/pre-sal/>. Acessado em 30-Maio-2015.

A área referente ao pré sal têm uma área de aproximadamente 149.000 km² e fica aproximadamente a 340 km da costa brasileira, se estendendo do sul do estado do Espírito Santo até nordeste do estado de Santa Catarina. A grande vantagem desta descoberta e também pela localização é que a área de exploração fica mais próxima ao grande centro de consumo da região brasileira, ou seja, a região Sudeste. A

a seguir ilustra a área do pré sal com sua extensão e estados.

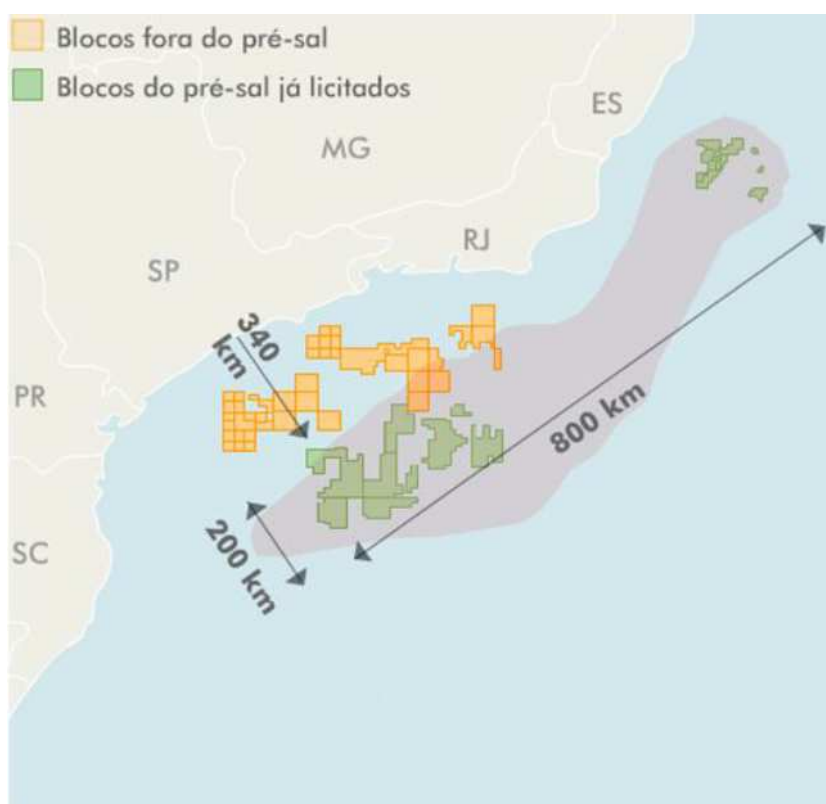


Figura 25 - Localização do Pré Sal

Fonte: ANDREOS, 2013. Adaptada.

Segundo o Boletim Anual de Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural 2014, somente em 2013 a produção média diária de Gás Natural foi de 10,2 milhões de m³ com aumento e recorde no último mês do mesmo ano, sendo de 12,1 milhões de m³. Com isso, a oferta e produção teve um aumento de 89% sobre a produção média diária do ano anterior. A figura 26 a seguir demonstra a evolução da produção durante o ano de 2013 sobre o ano de 2012

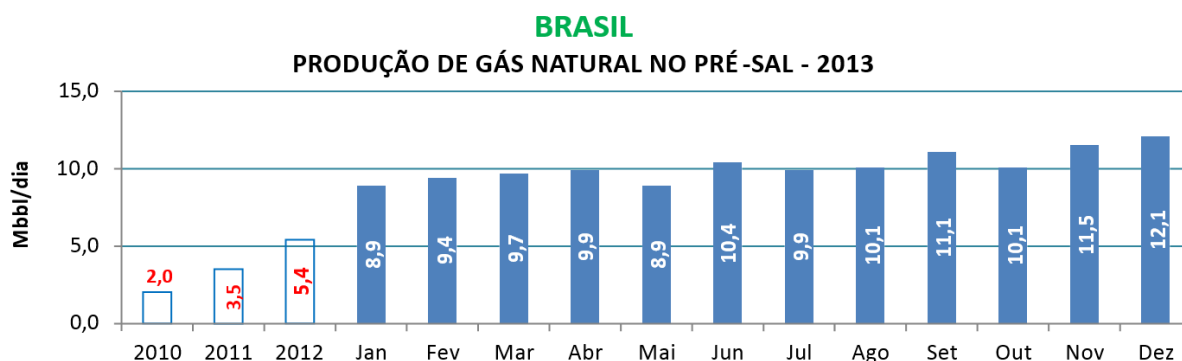


Figura 26 - Produção de gás natural no Pré-Sal 2013

Fonte: ANP,MME, 2014. Adaptada

3.3.2. TARIFAS GÁS NATURAL

A tarifação para o consumo de gás natural possui duas modalidades, sendo:

- Comercial – Setor terciário composto por shoppings, supermercados, edifícios comerciais, data centers e grandes hotéis.
- Industrial - setores têxtil, alimentício e bebidas, papel e celulose, farmacêutico e de produção de borracha.

Para o setor comercial a forma de tarifação segundo Deliberação ARSESP nº 575, de 07/05/2015, com vigência a partir de 31/05/2015 é dada como demonstrado na tabela 8 a seguir.

Classes	Volume m³/mês	Valores sem ICMS		Valores com ICMS	
		Fixo - R\$/mês	Variável - R\$/m³	Fixo - R\$/mês	Variável - R\$/m³
1	0 - 0	R\$ 28,78	-	R\$ 32,70	-
2	0,01 a 50,00 m³	R\$ 28,78	R\$ 3,879534	R\$ 32,70	R\$ 4,408561
3	50,01 a 150,00 m³	R\$ 46,76	R\$ 3,519802	R\$ 53,14	R\$ 3,999775
4	150,01 a 500,00 m³	R\$ 82,73	R\$ 3,281484	R\$ 94,01	R\$ 3,728959
5	500,01 a 2.000,00 m³	R\$ 188,85	R\$ 3,069183	R\$ 214,60	R\$ 3,487708
6	2.000,01 a 3.500,00 m³	R\$ 870,54	R\$ 2,728388	R\$ 989,25	R\$ 3,100441
7	3.500,01 a 50.000,00 m³	R\$ 3.264,59	R\$ 2,044893	R\$ 3.709,76	R\$ 2,323742
8	> 50.000,00 m³	R\$ 8.660,58	R\$ 1,936973	R\$ 9.841,57	R\$ 2,201106

Tabela 8 – Tarifação Gás Natural setor comercial

Fonte: COMGÁS - Adaptada.

Nota do Faturamento: Cada classe é independente. Aplica-se a cada uma delas um encargo variável e um encargo fixo. A porcentagem de ICMS é de 12%.

1 - Valores para Gás Natural referidos nas seguintes condições:

- Poder Calorífico Superior: 9.400 kcal/m³ (39.348,400 kJ/m³ ou 10,932 kWh/m³).
- Temperatura = 293,15 K (20° C).
- Pressão = 101.325 Pa (1 atm)

2 - Fórmula de Cálculo do Importe: $I = F + (CM \times V)$, onde:

- F = Valor do encargo Fixo.
- CM = Consumo Mensal Medido em m³.
- V = Valor do encargo Variável.⁷

⁷ Texto extraído do site: COMGÁS - Tarifas do Gás Natural Canalizado - disponível em <http://www.comgas.com.br/pt/nossosServicos/Tarifas/Paginas/comercial.aspx> Acessado em 09-Julho-2015

Para o setor industrial a forma de tarifação segundo Deliberação ARSESP nº 575, de 07/05/2015, com vigência a partir de 31/05/2015 é dada como demonstrado na tabela 9 a seguir

Classes	Volume m³/mês	Valores sem ICMS		Valores com ICMS	
		Fixo - R\$/mês	Variável - R\$/m³	Fixo - R\$/mês	Variável - R\$/m³
1	Até 50.000,00 m³	R\$ 177,74	R\$ 2,008085	R\$ 201,98	R\$ 2,281915
2	50.000,01 a 300.000,00 m³	R\$ 27.808,03	R\$ 1,455456	R\$ 31.600,03	R\$ 1,653927
3	300.000,01 a 500.000,00 m³	R\$ 46.346,73	R\$ 1,393606	R\$ 52.666,74	R\$ 1,583643
4	500.000,01 a 1.000.000,00 m³	R\$ 52.033,36	R\$ 1,382234	R\$ 59.128,82	R\$ 1,570720
5	1.000.000,01 a 2.000.000,00 m³	R\$ 75.276,77	R\$ 1,358990	R\$ 85.541,78	R\$ 1,544307
6	> 2.000.000,00 m³	R\$ 116.294,53	R\$ 1,338480	R\$ 132.152,88	R\$ 1,521000

Tabela 9– Tarifação Gás Natural setor industrial

Fonte: COMGÁS - Adaptada.

Nota do Faturamento: Cada classe é independente. Aplica-se a cada uma delas um encargo variável e um encargo fixo. A porcentagem de ICMS é de 12%.

1 - Valores para Gás Natural referidos nas seguintes condições:

- Poder Calorífico Superior: 9.400 kcal/m³ (39.348,400 kJ/m³ ou 10,932 kWh/m³).
- Temperatura = 293,15 K (20° C).
- Pressão = 101.325 Pa (1 atm).

2 - Fórmula de Cálculo do Importe: $I = F + (CM \times V)$, onde:

- F = Valor do encargo Fixo.
- CM = Consumo Mensal Medido em m³.
- V = Valor do encargo Variável. ⁸

⁸ Texto extraído do site: COMGÁS - Tarifas do Gás Natural Canalizado - disponível em <http://www.comgas.com.br/pt/nossosServicos/Tarifas/Paginas/industrial.aspx> Acessado em 09-Julho-2015

4. COGERAÇÃO A GÁS NATURAL

A cogeração com gás natural reduz muito a emissão de resíduos contaminantes, se comparada, por exemplo, à cogeração com outros combustíveis conforme tabela 10.

Dentre os combustíveis fósseis o gás natural é considerado o combustível de menor taxa de emissão de CO₂, contribuindo de forma significativa na redução de emissão de gases de efeito estufa. (ANDREOS, 2013).

Poluente	Gás Natural	Óleo Combustível	Carvão
CO ₂	117.000	164.000	208.000
CO	40	33	208
NO _x	92	448	457
SO	1	1.122	2.591
Particulados	7	84	2.744
Mercúrio	0,000	0,007	0,016
Unidade	<i>(Libras/bilhão BTU)</i>		

Tabela 10 - Comparativo de emissões entre os combustíveis

Fonte: ANDREOS, 2013. Adaptada.

Uma vez a planta preparada para utilizar o gás natural a mesma terá um fornecimento contínuo de combustível sem a necessidade de grandes reservatórios, assim eliminando abastecimentos diários e até mesmo grandes acidentes ambientais, uma vez que caso o gás venha a vaziar, o mesmo se dispersará na atmosfera e não contaminará o solo como em caso de vazamentos de reservatórios de óleo diesel. Sendo assim, além de gerar energia e tornar o sistema mais eficiente, este processo utilizando o gás natural contribui para diminuir os níveis de poluição.

Segundo a ABEGÁS, comparando com Outubro de 2013, o segmento de cogeração, que utiliza gás natural como combustível para gerar energia elétrica no ponto de consumo, registrou crescimento de 14,6% (ABEGÁS, 2014).

4.1. APLICAÇÕES

4.1.1. POTÊNCIA ELEVADA

Plantas com capacidade instalada acima de 20 MW, sendo principalmente indústrias. O processo de cogeração a gás natural em indústrias destina-se além de gerar energia, mas também em gera-se vapor ou resfriamento no seu processo produtivo, como os setores têxtil, alimentício e bebidas, papel e celulose, farmacêutico e de produção de borracha.

A gigante química Basf quer ampliar de 30% a 40% a capacidade de cogeração de energia elétrica e vapor em sua planta em Guaratinguetá, no Vale do Paraíba (SP).⁹

4.1.2. POTÊNCIA MÉDIA

Plantas com capacidade instalada entre 2 a 10 MW. Essa faixa de potência também pode ser considerada como setor terciário, composto por shoppings, supermercados, edifícios comerciais, data centers e grandes hotéis. Esses setores utilizam motores de combustão interna ciclo Otto associados em paralelo ou turbinas a gás natural, onde geralmente são associados a unidades centrais de ar condicionado e centrais de aquecimento de água.

4.1.3. POTÊNCIA BAIXA

Plantas com capacidade instalada entre 30 kW à 2 MW. Essa faixa de potência se enquadra comércios, pequenas indústrias, pequenos prédios comerciais. Esses setores assim como de potência média também utilizam motores de combustão interna ciclo Otto associados em paralelo ou turbinas a gás natural, porém de menor potência e o paralelismo é principalmente para se obter redundância. Ainda comparando com o item anterior a usina de geração é associada a unidades centrais de ar condicionado e centrais de aquecimento de água.

⁹ Texto extraído do site: ABEGÁS - Basf planeja ampliar cogeração diante do alto custo da energia – disponível <http://www.abegas.org.br/Site/?p=33719> Acessado em 30-Maio-2015.

Dentre todas as aplicações ora citadas, o que irá diferenciar a escolha que uma empresa faz por um sistema com grupos geradores MCI ou uma turbina a gás será a sua demanda por vapor ou energia térmica. Ambas as soluções possuem capacidade para produzir eletricidade em potências similares, no entanto as turbinas geram muito mais ar quente do que o escapamento dos motores MCI. Enquanto um Motor MCI de 5 MW consegue gerar aproximadamente 3 t/h de vapor, uma turbina de mesma capacidade pode alimentar uma caldeira para gerar pelo menos 12 t/h. Esse ponto faz com que as turbinas a gás sejam indicadas para as indústrias com demanda térmica elevada, sendo, as indústrias químicas e petroquímicas, papel e celulose, cerâmica, siderurgia, alimentos e farmacêutica. Já os grupos geradores são indicados para shopping centers, condomínios corporativos e indústrias com menor necessidade de vapor ou de ar frio para sistemas de ar-condicionado.

Apesar da vantagem de geração térmica proveniente das turbinas a gás, há a real necessidade de uma prévia análise da aplicação, ou seja, definindo que a mesma seja *Topping* ou *Bottoming*, ora já citados neste estudo. Para aplicações de alta necessidade de vapor e necessidade de suprimento de energia elétrica contínua o indicado será o uso de turbinas devido ao melhor funcionamento em um perfil sem degraus de carga e uso durante 24 horas e 7 dias por semana, sendo a aplicação ideal para grandes indústrias.

O uso de grupos geradores apesar de produzir menor capacidade térmica, ganha-se em flexibilidade, ou seja, será muito mais prático trabalhando em horários de ponta partindo e parando a usina de forma mais fácil, além de absorver de forma mais eficaz possíveis degraus de carga. Assim, essa aplicação é ideal para o setor terciário.

5. ANÁLISE DO CENÁRIO BRASILEIRO

5.1. BASE INSTALADA

Atualmente existem no país em torno de 116 unidades de cogeração utilizando o gás natural como combustível, onde esse número representa aproximadamente 11,6% da capacidade instalada, assim, gerando uma potência total de 1.397 MW. Essa base instalada utilizando o gás natural como combustível é a segunda maior opção de combustível para cogeração, perdendo apenas para a biomassa de cana, com 774 unidades e 9.322 MW como demonstrado na tabela 11 e figura 27 a seguir.

Tipo de Combustível	Unidades Instaladas	%	Potência em MW
Biomassa de Cana	774	77,3%	9322
Gás Natural	116	11,6%	1397
Outros	22	2,2%	265
Licor Negro	21	2,1%	253
Óleo Combustível	20	2,0%	241
Gás de Alto Forno	20	2,0%	241
Gás de Processo	14	1,4%	169
Óleo Diesel	10	1,0%	120
Enxofre	4	0,40%	48

Tabela 11 – Base instalada no Brasil vs combustíveis aplicados.

Fonte: Autor com base em informações - COGEN,2015. Adaptada

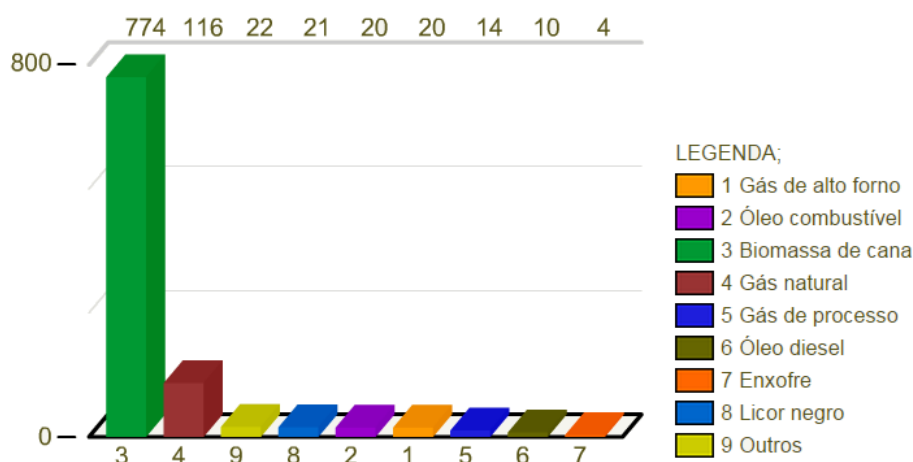


Figura 27 - Gráfico com quantidade de usinas vs o combustível utilizado

Fonte: COGEN,2015. Adaptada

Basicamente o histórico de usinas de cogeração no Brasil se refere a aplicações isoladas, em plataformas e principalmente nas indústrias que utilizam os seus resíduos de processo como combustível para geração de energia elétrica destinada ao consumo interno em seus processos produtivos como a agroindústria canavieira, química e petroquímica, papel e celulose entre outras. (ANDREOS, 2013).

Segundo a COGEN após 2010 a cogeração chega a um universo de quase 12.056 MW de potência instalada e um total de 1001 unidades de cogeração levando em consideração todos os combustíveis. (COGEN, 2015).

Essa evolução é apresentada graficamente pela figura 28 a seguir.



Figura 28 - Evolução da base instalada de cogeração no Brasil

Fonte: Sicogen - COGEN, 2015. Adaptada

A evolução da potência instalada durante as últimas décadas deve-se aos modelos institucionais que o setor elétrico foram desenhando, de modo a aumentar a competitividade empresarial aumentando o surgimento de novos agentes investidores como produtores independentes, autoprodutores e agentes de comercialização de energia, estimulando a geração próxima aos centros de consumo. (ANDREOS, 2013).

Dentro do cenário mundial levando em consideração a base instalada de 116 usinas e com uma potência aproximada de 1.397 MW utilizando o gás natural como combustível, o Brasil ocupa a 29ª posição mundial em cogeração conforme demonstra a tabela 12 a seguir.

EUA	84.707	Filândia	5.830	Cingapura	1.602
Rússia	65.100	Dinamarca	5.690	Estônia	1.600
China	28.153	Reino Unido	5.440	Brasil	1.397
Alemanha	20.840	Eslováquia	5.410	Indonésia	1.203
Índia	10.012	Roménia	5.250	Bulgária	1.190
Japão	8.723	República Tcheca	5.200	Portugal	1.080
Polónia	8.310	Coreia	4.522	Lituânia	1.040
Taiwan	7.378	Suécia	3.490	Turquia	790
Holanda	7.160	Áustria	3.250	Letônia	590
Canadá	6.765	México	2.838	Grécia	240
França	6.600	Hungria	2.050	Irlanda	110
Espanha	6.045	Bélgica	1.890		
Itália	5.890	Austrália	1.864		

Tabela 12 - Base instalada mundial de cogeração utilizando gás natural

Fonte: Schechtman, 2012. Adaptada.

Devido a disponibilidade de gás natural e rede de distribuição estar mais presente na região sudeste do país, fonte de produção vinda da Bacia de Santos, Bacia de Santos, a importação do gás proveniente da Bolívia via gasoduto Brasil-Bolívia, o qual chega em São Paulo e por último a exploração do próprio Pré-Sal.

Analisando entre os estados brasileiros podemos verificar que o maior consumo se dá no estado de São Paulo com 39% da capacidade do país com uma potência aproximada de 545 MW, seguido pelo estado do Rio de Janeiro com 36% com uma potência aproximada de 503 MW seguido em terceiro lugar o estado da Bahia com 21% e potência de 293 MW, onde os outros 4% restantes se referem a uma potência de aproximadamente 56 MW dividida entre usinas entre os demais estados brasileiros como demonstrado na figura 29 a seguir.

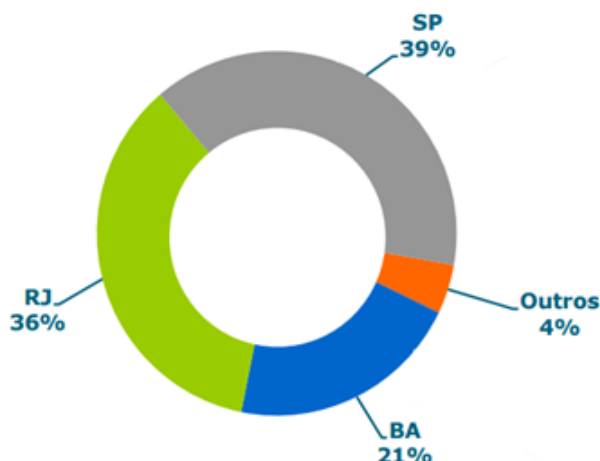


Figura 29 - Capacidade Instalada de Cogeração a gás natural por estado

Fonte: COGEN, 2015

5.2. POTENCIAL DE MERCADO

A cogeração de energia a partir do gás natural ganha espaço considerando o potencial de crescimento nas atividades produtivas na região Sudeste do país, especialmente no estado de São Paulo, sendo nos segmentos de consumo industrial, comércio e serviços.

Segundo a COGEN existe um potencial de referência para cogeração a gás natural no estado de São Paulo na ordem de 1.592 instalações, dos quais 408 são na indústria representando 25% da capacidade e 1.184 no setor terciário e serviços, representando 75%, onde essa fatia é composta por shoppings, hotéis, centros comerciais, hospitais, entre outros, conforme demonstrado pela figura 30.

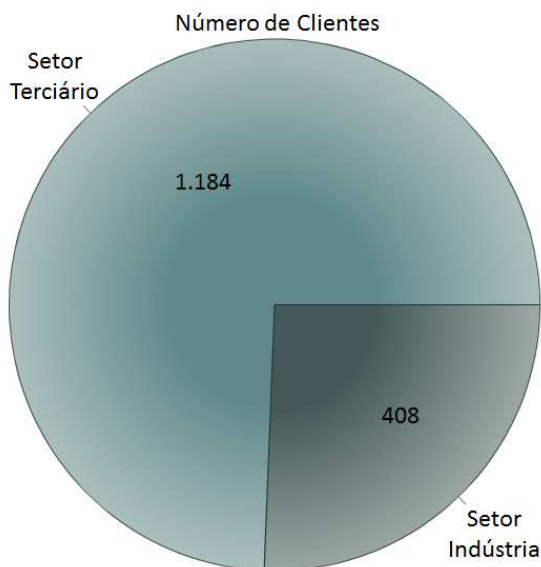


Figura 30 - Número de clientes em São Paulo

Fonte: COGEN, 2015. Adaptada

A figura 31 a seguir demonstra esse potencial estimado resultando em uma capacidade instalada de 3.460 MW, sendo 700 MW no setor terciário e 2.769 MW na indústria como ilustra a figura 31. Essa capacidade total levaria a um consumo estimado de gás natural da ordem de 19 milhões metros cúbicos por dia, sendo 87,6% voltados para a indústria e 12,4% nos setores comercial e serviços. (COGEN, 2013).

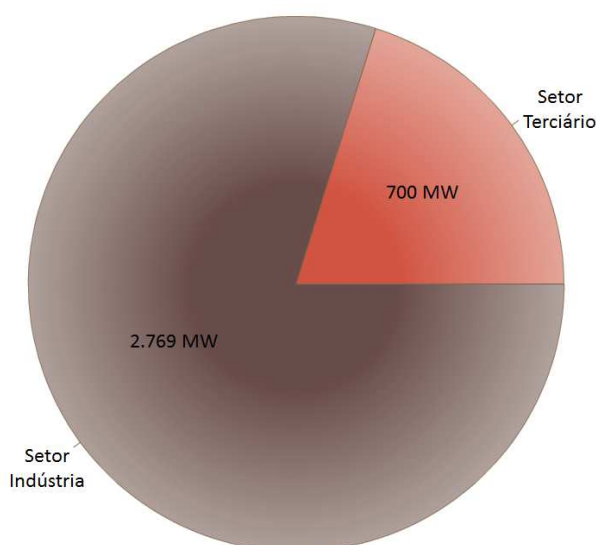


Figura 31 - Potência estimada por setor

Fonte: COGEN, 2015. Adaptada

As tabelas 13 e 14 a seguir demonstram de forma explodida o potencial de cogeração no estado de São Paulo exibindo de forma detalhada o segmento, potência e consumo estimado de gás natural em m³ dia para o setor industrial e terciário.

Indústria			
Segmento	Nº de clientes em potencial	Potencial de co-geração em MW	Consumo estimado de gás natural em m ³ /dia
Bebidas	19	65	347.527
Laticínios	26	41	198.526
Frigoríficos	29	105	527.809
Óleos	5	27	194.238
Aminoácidos	4	60	431.640
Massas e Biscoitos	22	62	326.919
Citros	5	104	558.161
Cerâmica	166	59	401.630
Papel e Celulose	30	346	2.051.818
Têxtil	56	183	984.096
Química	26	912	5.329.868
Ferro Gusa e Aço	1	287	2.064.678
Cimento	9	221	1.183.740
Pneus	5	70	417.918
Alumínio	1	164	1.233.444
Madeira	4	63	430.986
TOTAL INDÚSTRIA	408	2769	16.682.998

Tabela 13 - Potencial de cogeração a gás natural por segmento de atividade – Industrial

Fonte: COGEN, 2013. Adaptada

Setor Terciário			
Segmento	Nº de clientes em potencial	Potencial de co-geração em MW	Consumo estimado de gás natural em m ³ /dia
Shopping Centers	94	132	444.029
Supermercados	550	358	1.213.580
Hotéis	247	50	170.302
Hospitais	193	118	398.723
Edifícios Corporativos	100	42	141.120
TOTAL TERCIÁRIO	1.184	700	2.367.754

Tabela 14 - Potencial de cogeração a gás natural por segmento de atividade – Setor terciário.

Fonte: COGEN, 2013. Adaptada

5.3. TARIFAS GÁS NATURAL

As plantas de cogeração qualificadas podem se beneficiar da tarifa de gás natural para cogeração de acordo com a Deliberação ARSESP nº 575, de 07/05/2015, com vigência a partir de 31/05/2015.

Observando as tarifas aplicadas ao gás natural dentro da área de concessão da COMGÁS temos conforme tabela 15 a seguir.

Classes	Volume m³/mês	Valores sem ICMS		Valores com ICMS	
		Variável - R\$/m³		Variável - R\$/m³	
		Cogeração de Energia Elétrica destinada ao consumo próprio ou à venda a consumidor final	Cogeração de Energia Elétrica destinada à revenda a distribuidor	Cogeração de Energia Elétrica destinada ao consumo próprio ou à venda a consumidor final	Cogeração de Energia Elétrica destinada à revenda a distribuidor
1	Até 5.000,00 m³	R\$ 0,415719	R\$ 0,409976	R\$ 0,472408	R\$ 0,465882
2	5.000,01 a 50.000,00 m³	R\$ 0,326471	R\$ 0,321961	R\$ 0,370990	R\$ 0,365865
3	50.000,01 a 100.000,00 m³	R\$ 0,281050	R\$ 0,277167	R\$ 0,319375	R\$ 0,314963
4	100.000,01 a 500.000,00 m³	R\$ 0,213493	R\$ 0,210543	R\$ 0,242606	R\$ 0,239253
5	500.000,01 a 2.000.000,00 m³	R\$ 0,220693	R\$ 0,217643	R\$ 0,250788	R\$ 0,247322
6	2.000.000,01 a 4.000.000,00 m³	R\$ 0,199758	R\$ 0,196998	R\$ 0,226998	R\$ 0,223861
7	4.000.000,01 a 7.000.000,00 m³	R\$ 0,174791	R\$ 0,172376	R\$ 0,198626	R\$ 0,195882
8	7.000.000,01 a 10.000.000,00 m³	R\$ 0,149821	R\$ 0,147751	R\$ 0,170251	R\$ 0,167899
9	> 10.000.000,00 m³	R\$ 0,124271	R\$ 0,122554	R\$ 0,141217	R\$ 0,139266

Tabela 15 - Tarifas cogeração
Fonte: COMGÁS, 2015. Adaptada

Nota do Faturamento: O cálculo do importe deve ser realizado em cascata, ou seja, progressivamente em cada uma das classes de consumo. A porcentagem de ICMS é de 12%.

Notas:

1- Ao valor das margens desta tabela, que já incluem os tributos PIS/PASEP e COFINS, deverá ser acrescido o valor do preço do gás (*commodity* + transporte) referido nas condições abaixo e destinado a esse segmento.

2- Valores para Gás Natural referidos nas seguintes condições:

- Poder Calorífico Superior: 9.400 Kcal/m³; (39.348,400 kJ/m³ ou 10,932 kWh/m³).
- Temperatura = 293,15°K (20° C).
- Pressão = 101.325 Pa (1 atm).

3- O custo do gás canalizado e do transporte destinados ao Segmento de Cogeração, já considerados os valores dos tributos PIS/PASEP e COFINS incidentes no fornecimento pela Concessionária, vigentes nesta data, é de:

A. R\$ 0,998266/m³, nos casos em que o gás canalizado é adquirido como insumo energético utilizado na cogeração de energia elétrica destinada ao consumo próprio ou à venda a consumidor final.

B. R\$ 0,984474/m³, nos casos em que o gás canalizado é adquirido como insumo energético utilizado na cogeração de energia elétrica destinada à revenda a distribuidor.

4- Os valores obtidos em razão de alterações para mais ou menos dos custos indicados no item 3, serão contabilizados em separado e deverá observar o disposto na Deliberação ARSESP nº 308, de 17/02/2012.¹⁰

¹⁰ Texto extraído de COMGÁS – Tarifas Cogeração – disponível em <http://www.comgas.com.br/pt/nossosServicos/Tarifas/Paginas/coogeracao.aspx>. Acessado em 04-Maio-2015.

5.4. LEGISLAÇÃO - RESOLUÇÃO 482

Plantas de cogeração além de gerar energia elétrica para consumo próprio, podem se também exportar para a rede o seu excedente se caracterizando como microgeração e minigeração, assim como menciona a RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012.

Esta resolução estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração com potência instalada menor ou igual a 100 kW e minigeração distribuída com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW aos sistemas de distribuição de energia elétrica.

A Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 define o Sistema de Compensação como um arranjo no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade. Nele, um consumidor de energia elétrica instala pequenos geradores em sua unidade consumidora e a energia gerada é usada para abater o consumo de energia elétrica da unidade. Quando a geração for maior que o consumo, o saldo positivo de energia poderá ser utilizado para abater o consumo em outro posto tarifário ou na fatura do mês subsequente. Os créditos de energia gerados continuam válidos por 36 meses.

Há ainda a possibilidade de o consumidor utilizar esses créditos em outra unidade (desde que as duas unidades consumidoras estejam na mesma área de concessão e sejam do mesmo titular).¹¹

¹¹ Texto extraído de AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL – disponível em <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acessado em 004-05-2015

5.5. VANTAGENS

As principais vantagens da cogeração utilizando o gás natural são:

- Menor custo de energia elétrica e térmica.
- A indústria ou o setor terciário ficará provido de um fornecimento de energia com maior confiabilidade e qualidade.
- Como a geração é descentralizada e junto a carga não há necessidade de custos com transmissão e distribuição da eletricidade produzida.
- Maior eficiência energética, visto que em um empreendimento onde somente se gera energia elétrica a eficiência da planta fica em torno de 35%, no entanto em um empreendimento com cogeração essa eficiência aumenta a um patamar de 85%.
- Em questões ambientais, mesmo o gás natural sendo um combustível fóssil, o nível de emissão de gases de efeito estufa, principalmente CO₂ é menor comparado a outros combustíveis também fósseis como por exemplo o óleo combustível ou carvão.
- Possibilidade de financiamento do BNDES.
- BOO - *Built Operate Own* e BOT - *Built Operate Transfer*, onde você investe e opera a cogeração ou terceiriza o investimento.
- Diminuição da carga elétrica interligada do país.

Um ponto de incentivo para difundir a cogeração é o fato de que muitos fornecedores de soluções financiam as unidades, recebendo por meio de contratos de longo prazo, e além disto, outra motivação para o negócio envolve até mesmo concessionárias, como por exemplo a Comgás de São Paulo, que dedica profissionais a suportar clientes interessados em aproveitar seu produto para gerar eletricidade e utilidades (ABEGÁS, 2014).

5.6. BARREIRAS

Mesmo com todas as vantagens evidenciadas para cogeração, há as principais barreiras enfrentadas no mercado brasileiro como descritas abaixo:

- Barreiras culturais – Alguns empreendimentos ainda não enxergam a cogeração como uma fonte de aumento de eficiência.
- Equipamentos que compõem uma planta de cogeração geralmente são importados e assim oneram o investimento devido alto custo dos mesmos e também à importação e frete, além de dificuldades para peças de reposição e consequentemente custo das mesmas.
- Ainda pelo fato dos equipamentos serem importados, há um alto investimento inicial e a um longo prazo para que a planta seja concluída o *pay-back* do empreendimento tende a ser de médio a longo prazo.

Impacto financeiro inicial alto, apesar da possível economia no custo operacional o investidor brasileiro tende a pensar somente no custo inicial. (ANDREOS, 2013).

- Devido a planta utilizar uma gama de produtos importados e de alta tecnologia, há a necessidade de que haja um sistema de controle e supervisor no mesmo patamar.
- Ainda devido à complexidade da planta faz-se necessário um operador acompanhando a mesma 24 horas por dia para, garantir o bom funcionamento da mesma.
- Com relação ao combustível consumido, onde neste caso é o gás natural, há uma grande dependência da planta para com a tarifa de gás natural.

Praticamente 50% a 65% do custo operacional de uma planta de cogeração está relacionado ao preço do gás natural, portanto toda variação no preço do gás reflete diretamente na viabilidade financeira do projeto exigindo uma grande estabilidade desta *commodity*. (ANDREOS, 2013).

- Devido ao alto investimento inicial, muitos investidores não possuem recursos financeiros para o projeto da planta de cogeração.

5.7. DESAFIOS

Os desafios principais para a cogeração utilizando o gás natural como fonte primária de energia podem ser elencados como a seguir:

- Falta de uma política governamental e ações que induzam de melhor forma o incentivo ao uso do gás natural para aplicações comerciais, industriais e principalmente para cogeração. A forma de tarifação para o consumo de GN utiliza de uma formação de preço fixo mais uma parcela variável de acordo com o consumo, assim elevando o custo desse combustível. Utilizando-o como combustível para cogeração há um agravante devido a forma de tarifação, pois a mesma é calculada em cascata, assim fazendo com que a planta de cogeração pague uma parcela dentro de cada intervalo de metros cúbicos consumidos até o total consumido por mês. Ambas as tarifações já incluem como imposto 12% de ICMS.
- Atualmente não há obrigatoriedade das distribuidoras de energia elétrica em comprarem o excedente da geração de energia. Somente é gerado um crédito como mencionado pela Resolução 482.
- A instabilidade legal no setor elétrico brasileiro ainda é um grande desafio, além de entraves com relação a conexão com a rede.
- Incertezas quanto à garantia do suprimento de gás natural e quanto as futuras tarifas do gás natural comparada a tarifa da energia elétrica.
- Falta transparência na formação do preço do gás devido ao monopólio da Petrobras e à interferência do governo na empresa.
- Acesso limitado a rede de gás natural na maior parte dos estados devido à baixa capilaridade da infraestrutura de transporte e distribuição.

6. CONCLUSÕES

Essa aplicação comparada as demais fontes de geração de energia térmica se torna mais eficiente devido ao fato de gerar mais de uma forma de energia utilizando apenas uma única fonte de energia primária, assim elevando a eficiência da planta de 35% de geração energia elétrica e 65% de perdas para 35% de geração de energia elétrica e 50% de geração de energia térmica e somente restante 15% de perdas. Sendo possível a aplicações de grupos geradores, turbinas a gás ou a vapor dependendo da aplicação da planta.

Mesmo com a evolução brasileira na exploração de gás natural associado e não associado tanto em campos *onshore* como na bacia do Solimões e *offshore* como ao longo da costa brasileira, além a exploração em águas ultra profundas como o Pré-Sal, há atualmente ainda uma dependência de importação de gás natural para completar a oferta nacional.

A malha de distribuição brasileira ainda pode ser considerada embrionária se comparada com a rede Americana ou Europeia. Atualmente o Brasil possui com pontualidade o maior nível de distribuição na região Sudeste em especial no estado de São Paulo devido ser a maior base instalada utilizando o gás natural como combustível, no entanto esse déficit da malha de distribuição para as demais regiões limita a evolução do consumo dessa *commodity* e conseqüentemente inviabiliza o uso de cogeração. Ainda aliado ao fato que grande parte dos equipamentos utilizados em uma planta de cogeração são importados, gera-se há um alto valor de investimento a princípio além da planta operar sempre na dependência da tarifa de gás natural com relação a tarifa de energia elétrica, provocando barreiras e desafios a serem superados pela cogeração no país.

A tarifa para o consumo de gás natural utiliza-se de uma forma não atrativa, pois possui parcela fixa e variável de acordo com o segmento e para cogeração há uma forma de cálculo em cascata, assim caso a tarifa de energia elétrica seja menos onerosa à do gás natural, não há prioridade em cogerar.

- **Sugestões para superação das barreiras e desafios**
- Desenvolvimento da oferta e distribuição do gás natural em todo o território nacional, assim aumentando a disponibilidade do mesmo e consequentemente a evolução da cogeração.
- Desenvolvimento de equipamentos nacionais confiáveis para constituírem uma planta de cogeração, assim, reduzindo o custo com aquisição e frete.
- Exigência de conteúdo local em alguns O&M instalados no Brasil para a redução do custo e viabilizar a aquisição via FINAME, por exemplo.
- Redução do ICMS incluso para o gás natural atualmente em 12%.
- Reformulação da tarifação tanto do consumo de gás natural bem como para cogeração isenção do termo fixo.
- Uma melhor política com relação ao excedente injetado na rede. Estabelecer uma tarifação para compra do mesmo além de crédito. Assim tornando atrativo a conspecção de um projeto de cogeração com microgeração ou mingeração.
- Estabilidade de valores das tarifas tanto para o gás natural quanto para energia elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEGÁS Cogeração: Um investimento, vários benefícios. Disponível em - <http://www.abegas.org.br/> . Acessado em 31-05-2015.

ANDAI – Turbinas a Vapor – disponível em <https://fabioferrazdr.files.wordpress.com/2008/08/turbinas-a-vapor.pdf>. Acessado em 26-05-2015

ANDREOS, Ronaldo. *Estudo de viabilidade técnico-econômica de pequenas centrais de cogeração a gás natural no setor terciário do estado de São Paulo*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013.

ANDREOS, Ronaldo. *Cogeração, Apostila do curso de especialização em energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética*, ERG-003, 2014.

ANP- Boletim da Produção de Petróleo e Gás Natural – 2014 – disponível em <http://www.anp.gov.br/?dw=72068>. Acessado em 03-06-2015.

BRASIL, Newton Paterman – Apostila de Co-geração. Edição de Agosto de 2005

CASPTONE – MICRO TURBINA C30 – disponível em <http://www.capstoneturbine.com/docs/datasheets>. Acessado em 29-05-2015

CATERPILLAR, G3520C Gas Engine Performance Data Sheet DM3194, EUA. 2013. Disponível em <http://www.caterpillar.com/docs/datasheets>. Acessado em 27-04-2015.

COGEN – Conceitos e Tecnologias – disponível em http://www.cogen.com.br/cog_conceito_2.asp. Acessado em 31-05-2015.

Diário do pré sal – disponível em <https://diariodopresal.wordpress.com/petroleo-e-gas/> Acesso em 23/05/2015.

EBIE - Base instalada mundial de cogeração utilizando gás natural. Disponível em <http://www.daelt.ct.utfpr.edu.br>. Acessado em 31-05-2015

Fuentes de Energias No Renovables – Disponível em <http://es.slideshare.net> . Acesso em 20/05/2015

GRUPO TGM, *Catálogo Técnico Turbinas de Reação BT/BTE*- disponível em <http://www.grupotgm.com.br/produtos.php?id=8> Acessado em 25-05-2015.

LEITE, Nathalia Cristina Gonçalves – *Análise da eficiência elétrica de cogeração de uma plataforma de petróleo e proposta alternativa*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2014.

Multitek Ingenieros – disponível em <http://www.multitekingenieros.com/microcogeneracion> Acessado em 26/05/2015.

ODONE, Domingos Carlos. *Cogeração uma alternativa para a produção de eletricidade. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Interunidades de Pós Graduação em Energia da Universidade de São Paulo*. Universidade de São Paulo, 2001.

PODER NAVAL disponível em <http://www.naval.com.br/> Acessado em 31-05-2015

REIS, Lineu Belico dos. *Energia, Recursos Naturais e a Prática do Desenvolvimento Sustentável 2ª Edição Revisada e Atualizada 2012*.

SAKATSUME, Fábio Hideki, Dissertação de mestrado. *Uso de cogeração no setor residencial. A aplicação de mini e micro-cogeradores a gás natural*. PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, 2004.

Seminário sobre gás – disponível em www.petrobras.com.br/minisite/premiotecnologia/pdf/TecnologiaGas_Seminario_GAS.pdf Acesso em 16/05/2015

WOODWARD GAP SOFTWARE & TOOLS – *Documento particular em propriedade da empresa Woodward Inc. 2012*.