

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**Silvio Franklin Monção do Vale**

**Precificação de flexibilidades gerenciais em plantas GTL  
utilizando a Metodologia de Opções Reais**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da PUC - Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: José Paulo Teixeira

Rio de Janeiro  
Abril de 2008



**Silvio Franklin Monção do Vale**

Precificação de flexibilidades gerenciais em plantas GTL  
utilizando a Metodologia de Opções Reais

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia de Produção da PUC - Rio como requisito  
parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia  
de Produção.

**Prof. José Paulo Teixeira**

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

**Prof. Carlos Patrício Samanez**

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

**Prof. Fabio Rodrigo Siqueira Batista**

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

**José Eugênio Leal**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 14 de abril de 2008

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

### **Silvio Franklin do Vale**

Formado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Pará, onde foi bolsista de iniciação científica CNPq . Participou do projeto PUC/Petrobrás de análise de investimentos usando a teoria de Opções Reais em uma planta GTL.

#### Ficha Catalográfica

<p>Vale, Silvio Franklin</p> <p>Precificação de Flexibilidades Gerenciais em Plantas GTL Utilizando a Metodologia de Opções Reais / Silvio Franklin do Vale; orientador: José Paulo Teixeira. – 2008.</p> <p>86 f.; 30cm</p> <p>Dissertação de (Mestrado em Engenharia Industrial) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.</p> <p>Inclui referências bibliográficas.</p> <p>1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Análise de investimentos. 3. Teoria das Opções Reais. 4. Movimento Geométrico Browniano. 5. Simulação de Monte Carlo. I. Teixeira, José Paulo. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.</p>
---

CDD: 658.5

Aos meus pais: Francisco e Dejanette.

As minhas irmãs: Silvana e Soraia.

A minha namorada Maryana.

## Agradecimentos

À Deus, inteligência suprema, causa primária de todas as coisas, que me deu vida e oportunidade de exercitar a razão primeiro para encontrá-lo depois em meu coração.

Aos meus pais Francisco Alves Santos do Vale e Dejanette Monção do Vale, que sempre estiveram ao meu lado torcendo pela realização desse sonho.

As minhas irmãs Silvana e Soraia e a minha tia Oneide pela amizade e incentivo.

À minha namorada Maryana cujo amor não conhece distância.

Em especial ao professor José Paulo Teixeira, pelo total apoio e dedicação na orientação deste trabalho.

Aos professores Marco Antonio Dias e Carlos Patrício Samanez, pela excelência no ensino das disciplinas do mestrado, as quais me foram indispensáveis na elaboração deste trabalho.

Aos meus amigos Leonardo, Marco, Clebson, Jean, Adenilson, Igor, Klessis que dividiram república comigo e por vezes suportaram meu stress.

Aos meus amigos Zé, Leonardo, Gustavo, Frances e Pierre que me ajudaram tanto nesta caminhada.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível superior – CAPES, pelo apoio financeiro.

À Pontifícia Universidade Católica por todo conhecimento transmitido ao longo do mestrado, minha mais profunda gratidão ao programa de pós-graduação do departamento de engenharia industrial.

À todas as pessoas, que infelizmente não escrevi aqui seus nomes, mas que de uma forma ou de outra, contribuíram para o sucesso deste trabalho.

À todos meu RECONHECIMENTO e PROFUNDA GRATIDÃO por todos os momentos vividos durante esta jornada.

## Resumo

Vale, Silvio Franklin Monção do; Teixeira, José Paulo. **Precificação de flexibilidades gerenciais em plantas GTL utilizando a Metodologia de Opções Reais**. Rio, 2008. 86p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio).

O objetivo da presente dissertação é capturar o valor da opção de parada temporária que uma planta GTL oferece em cenários econômicos desfavoráveis para mantê-la operando. Desta forma, o autor considera que a metodologia das opções reais é a mais indicada para avaliar tal flexibilidade, sendo assim, o objetivo principal deste estudo é a análise da opção de parar temporariamente através da utilização do processo estocástico (Movimento geométrico Browniano) e a correlação de Cholesky entre cada input e os outputs da planta. O autor acredita que os resultados desta dissertação podem auxiliar os gestores que enxergam flexibilidades em seus projetos a antecipar prejuízos prolongados em cenários desfavoráveis para manter uma planta funcionando.

## Palavras-chave

Análise de investimentos; teoria das opções reais; processos estocásticos; movimento geométrico Browniano; correlação; simulação de Monte Carlo.

## **Abstract**

Vale, Silvio Franklin Monção do; Teixeira, José Paulo. **Precification of managerial flexibility in GTL plants using the Methodology of Real Options**. Rio, 2008. 86p. MSc Dissertation – Department of Industrial Engineering, Pontifical Catholic University of Rio de January (PUC-Rio).

The objective of this dissertation is to capture the value of the option to temporarily stop that a GTL plant offers in unfavorable economic scenarios to keep it operating. Thus the author believes that the methodology of real options is the best placed to assess such flexibility, and thus the main objective of this study is the analysis of the option to temporarily stop using the stochastic process (geometric Brownian Motion) and the correlation Cholesky between each input and outputs of the plant. The author believes that the results of this dissertation can assist the managers who see flexibilities in its projects to anticipate damages drawn out in favorable scenes to keep a plant functioning.

## **Keywords**

Investment analysis; real option theory; stochastic process; geometric Brownian motion; correlation; Monte Carlo simulation.

## Sumário

1	Introdução	14
2	Revisão Bibliográfica	18
3	A Planta Gas-to-Liquids (GTL)	20
3.1.	Introdução	20
3.2.	Uma Breve História do GTL	21
3.3.	O Gás Natural	24
3.3.1.	Aumento das Reservas Irrecuperáveis	25
3.4.	Principais produtores de GTL	26
3.5.	O Diesel GTL e as pressões ambientais	28
3.6.	A tecnologia GTL + Gaseificador	30
3.6.1.	O Gás de síntese	31
3.6.2.	Reforma Auto-térmica (ATR)	32
3.6.3.	Reforma a Vapor do Metano (SMR)	33
3.6.4.	Oxidação Parcial (POX)	33
3.7.	O processo de Fischer- Tropsch (FT)	35
3.8.	Hidroprocessamento	36
4	Opções	38
4.1.	Métodos Determinísticos de Análise de investimentos	39
4.1.1.	Critério do Valor Presente Líquido (VPL)	39
4.1.2.	Critério da Taxa Interna de Retorno (TIR)	41
4.1.3.	Limitações Quanto ao Critério Clássico do FCD	42
4.2.	Teoria das Opções Reais - TOR	44
4.2.1.	Opção	44
4.2.2.	Opções Reais	47
5	Processos Estocásticos	52
5.1.	Principais Processos Estocásticos	53
5.1.1.	Processo de Wiener	53



5.1.2. Processo de Markov	53
5.1.3. Movimento Browniano com Drift ou Movimento de Wiener generalizado (Movimento Aritmético Browniano)	54
5.1.4. Movimento Browniano Generalizado - o Processo de Ito	55
5.1.5. Movimento Geométrico Browniano (MGB)	55
5.1.6. Processo de Reversão à Média ou Ornstein-Uhlenbeck	57
6 Precificação da Opção de Parar Temporariamente e Resultados	59
6.1. Investimentos Iniciais ( <i>Capex</i> )	61
6.2. Custos	62
6.2.1. Matéria-Prima	62
6.2.2. OPEX	63
6.3. Receitas Operacionais	63
6.4. Parâmetros das séries de preços dos <i>inputs</i> e <i>outputs</i>	64
6.5. Simulação do Movimento Geométrico Browniano	68
6.6. Correlação	72
6.7. Resultados	73
6.7.1. Cálculo do VPL	74
6.7.2. Apresentação dos resultados (72.000 bbl)	77
6.7.3. Valor da Opção	78
6.7.4. Análise de Sensibilidade	81
7 Comentários e Conclusões	83
8 Referências bibliográficas	85

## Lista de figuras

Figura 1 – Comparação do Nível de Emissões.	30
Figura 2 – Processo GTL + Gaseificador.	30
Figura 3 – Processo Fischer-Tropsch da British Petroleum.	37
Figura 4 - Valor da opção aumenta com o aumento da flexibilidade segundo a teoria de OR.	43
Figura 5 – Valor de uma call na data de vencimento.	45
Figura 6 - Valor de uma <i>put</i> na data de vencimento.	45
Figura 7 - Variância no Movimento Geométrico Browniano.	56
Figura 8 - Possíveis combinações de Outputs.	60
Figura 9 – Gráfico da evolução da série de preços do GN.	65
Figura 10 – Gráfico da evolução da série de preços do OP.	66
Figura 11 – Gráfico da evolução da série de preços da Nafta.	66
Figura 12 – Gráfico da evolução da série de preços do Diesel.	67
Figura 13 – Gráfico da evolução da série de preços da Parafina.	67
Figura 14 – Gráfico da evolução da série de preços do Lubrificante.	68
Figura 15 – Caminhos do MGB para o Gás Natural.	70
Figura 16 – Caminhos do MGB para o Óleo Pesado.	70
Figura 17 – Caminhos do MGB para a Nafta.	71
Figura 19 – Caminhos do MGB para a Parafina.	72
Figura 20 – Caminhos do MGB para o Lubrificante.	72

## Lista de tabelas

Tabela 1 - Patentes mundiais para gás de síntese e para síntese FT.	24
Tabela 2 – Distribuição das reservas e consumo de gás no mundo.	25
Tabela 3 – Projetos industriais em operação.	26
Tabela 4 – Projetos de GTL em Andamento.	27
Tabela 5 – Projetos de GTL em estudo.	27
Tabela 6 - Composição do gás de síntese na saída do SMR.	33
Tabela 7 - Comparando opção financeira com opção real.	46
Tabela 8 - Tipos de plantas industriais analisadas.	59
Tabela 9 – Combinações de produção utilizadas no trabalho	60
Tabela 10 – Investimento por barril e por tipo de tecnologia 35 M.	61
Tabela 11 – Investimento por barril e por tipo de tecnologia 72 M.	61
Tabela 12 – Alocação dos recursos por fase do projeto 35.	61
Tabela 13 – Alocação dos recursos por fase do projeto 72 M.	62
Tabela 14 – Quantidade de Matéria-Prima por tipo de planta	62
Tabela 15 – Parâmetros via regressão encontrados.	65
Tabela 16 – Cenária de produção utilizados no trabalho.	75
Tabela 17 – Valor Presente Líquido (US\$ mil) do Cenário I (35.000).	75
Tabela 18 – Valor Presente Líquido (US\$ mil) do Cenário II (35.000).	76
Tabela 19 – Valor Presente Líquido (US\$ mil) do Cenário III (35.000).	76
Tabela 20 – Valor Presente Líquido (US\$ mil) do Cenário IV (35.000).	76
Tabela 21 – Valor Presente Líquido (US\$ mil) do Cenário I (72.000).	76
Tabela 22 – Valor Presente Líquido (US\$ mil) do Cenário II ( 72.000).	77
Tabela 23 – Valor Presente Líquido (US\$ mil) do Cenário III ( 72.000).	77
Tabela 24 – Valor Presente Líquido (US\$ mil) do Cenário IV ( 72.000).	78
Tabela 25 – Valor das flexibilidades (US\$) 35.000 bbl.	78
Tabela 26 – Valor das flexibilidades (US\$) 72.000 bbl.	78
Tabela 27 – Sumário estatístico GN 35.000 bbl.	79
Tabela 28 – Sumário estatístico OP 35.000 bbl.	79
Tabela 29 – Sumário estatístico GN 72.000 bbl.	80
Tabela 30 – Sumário estatístico OP 72.000 bbl.	80

Tabela 31 – VPL com diminuição de imposto para GN 35.000 bbl.	81
Tabela 32 – VPL com diminuição de imposto para OP 35.000 bbl.	81
Tabela 33 – VPL com diminuição de imposto para GN 72.000 bbl.	81
Tabela 34 – VPL com diminuição de imposto para OP 72.000 bbl.	82

**“Para não arrefecerdes, lembrai-vos que podeis vir a saber tudo. Para não presumirdes, lembrai-vos que por muito que souberdes muito ainda tereis a saber.”**

**Rui Barbosa.**

**“Qualquer caminho é apenas um caminho e não constitui insulto algum – para si mesmo ou para os outros – abandoná-lo quando assim ordena o coração. (...) Olhe cada caminho com cuidado e atenção. Tente-o tantas vezes quantas julgar necessárias... Então, faça a si mesmo e apenas a si mesmo uma pergunta: possui esse caminho um coração? Em caso afirmativo, o caminho é bom. Caso contrário, esse caminho não possui importância alguma.”**

**Carlos Castañeda, The Teachings of Don Juan.  
(Do livro o Tao da Física – Fritjof Capra)**

# 1 Introdução

Este trabalho está diretamente ligado a um projeto de parceria da empresa Petrobrás, com as universidades PUC/RJ e UFMG. Seu objetivo é analisar através da metodologia de opções reais, o valor de algumas flexibilidades gerenciais, que não foram analisadas na primeira fase deste trabalho, concluída em agosto de 2007.

Na primeira etapa do projeto, com o auxílio do CENPES (Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello), precisou-se das flexibilidades de *outputs* e *inputs* da planta GTL (gás to liquid). Mostrou-se que é viável do ponto de vista econômico, fazer um investimento adicional para ter flexibilidades de matéria-prima (*inputs*) na alimentação da planta e também no percentual de cada líquido de alta qualidade (*outputs*) a ser produzido.

O objetivo principal da análise econômica de projetos é maximizar o valor da firma. Uma das atividades críticas para alcançar este objetivo é a avaliação dos novos projetos de investimento. A ferramenta tradicional mais utilizada na escolha de projetos viáveis é o Valor Presente Líquido (VPL) dos fluxos de caixa projetados.

Durante muito tempo, a análise do Valor Presente Líquido (VPL) foi vista pelos acadêmicos e pelo mercado como o método mais aplicável para análise de viabilidade de projetos de investimentos. Este método é muito simples, geralmente, uma seqüência de fluxos de caixa esperados ao longo de um período determinado é descontado a uma taxa ajustada ao risco, obtendo-se assim o VPL do projeto.

Segundo a análise de investimentos clássica, para saber se um projeto é viável ou não, basta avaliar: se o VPL for positivo, o projeto é viável economicamente, caso contrário, não; é como se os gerentes dos projetos assumissem no início o compromisso irreversível de uma estratégia operacional, da qual eles não podem fugir, mesmo se os cenários econômicos mudarem

totalmente ou qualquer outra eventualidade que possa vir a inviabilizar este projeto acontecer.

Porém, estudos empíricos vem mostrando que esta metodologia possui limitações (BREALEY & MYERS, 2000, p.71). A incapacidade de avaliar as oportunidades intrínsecas aos projetos e a dificuldade de escolha da taxa de desconto mais adequada, levaram ao desenvolvimento de modelos mais abrangentes, que agregam o valor de um projeto levando em conta suas flexibilidades e incertezas.

A análise de opções reais – ROA – vem se tornando a alternativa mais consistente para análise de investimentos sob incertezas. Advinda da teoria de opções financeiras, a teoria das opções reais permitem avaliar as oportunidades embutidas nos projetos, muitas vezes, fazendo com que tais projetos que seriam descartados pela análise clássica, possam ser implementados se forem avaliados pela metodologia de opções reais.

Assim, a aplicação dos fundamentos de avaliação de opções financeiras na análise de projetos de investimento busca suprir a deficiência dos métodos tradicionais de VPL, através da incorporação da flexibilidade gerencial e das incertezas ao longo das interações estratégicas e/ou competitivas, que são de suma importância para os tomadores de decisões.

Desta forma, o investidor, dependendo do cenário econômico ou de qualquer outra variável, pode aumentar/diminuir sua produção, fazer uma parada temporária, uma expansão, ou até mesmo mudar completamente sua produção, construindo uma planta que tenha flexibilidade de *input* (matéria-prima) e/ou *output* (produto final).

O estudo de caso que será desenvolvido nesta dissertação de mestrado será precificar o valor da opção de Parada Temporária de uma planta, que possui uma tecnologia com duas etapas (GTL): **Gaseificador** mais **Gas to Liquid (GTL)**. O primeiro é um processo que permite transformar sólidos (biomassas), líquidos (óleos em geral) e gasosos (gás natural) em gás de síntese. Esse gás de alto poder energético servirá como matéria - prima para a segunda tecnologia (GTL) que terá como produto final líquidos de alta qualidade (diesel, lubrificante, parafina e nafta).

Este projeto é relevante para o Brasil, uma vez que viabiliza um potencial de biodiesel que este país tem, e possibilita a criação de projetos de gás natural e óleo-pesado que podem ser vistos como uma posição estratégica deste seguimento, pois ajudam a diversificar o parque produtivo do setor de energia do Brasil.

A motivação de fazer uma análise de investimentos utilizando a teoria de opções reais para precificar o valor da opção de parada temporária da planta GTL, foi primeiramente porque esta opção não foi avaliada na primeira fase do projeto, uma vez que a opção analisada foi a opção de conversão ( *Switch Use Option*), ver Costa (2007); Francisco (2007) e Vieira (2007).

Outra motivação importante para o autor, é o fato de não ter encontrado na literatura da tecnologia GTL estudo de viabilidade econômica com precificação da opção de parada temporária da mesma tecnologia, que é o objetivo desta dissertação de mestrado.

Mais uma motivação relevante para utilização desta metodologia, é que a teoria de opções reais é uma das principais linhas de pesquisa do departamento de Engenharia Industrial e uma excelente metodologia de análise de investimentos sob incertezas.

Para que tal metodologia seja aplicada da forma mais realística possível, os preços dos *inputs* e dos *outputs* serão modelados utilizando-se processos estocásticos, neste caso particular o Movimento Geométrico Browniano (MGB), donde serão calculados os parâmetros (drift e volatilidade) de cada série de preços de *inputs* e *outputs*, e em seguida será feita uma simulação por Monte Carlo (SMC). Assim, será possível calcular o valor da opção de parada temporária, simplesmente subtraindo o VPL de uma planta com flexibilidade do VPL de uma planta sem flexibilidade.

É importante notar ao final deste trabalho, que a opção de parar temporariamente tem grande valor para o projeto, principalmente porque esta opção não requer um investimento adicional. Além disso, será possível notar que algumas variáveis, tais como: tipo de *input*, perfil de produção escolhido para a planta e taxa de imposto indireto são bastante sensíveis para a elaboração deste estudo.



Esta dissertação de mestrado está dividida em 8 capítulos. No segundo capítulo será feita uma breve revisão bibliográfica.

No terceiro capítulo fez-se um posicionamento atual de uma tecnologia GTL, seus principais mercados em operação e onde estarão entrando em operação no curto e no médio prazo.

No quarto capítulo, fez-se uma breve descrição teórica da teoria tradicional de opções reais, mostrando os principais conceitos de opções Americanas e Européias, bem como opções de compra (Call) e de venda (Put). Também faz parte deste capítulo, a descrição dos principais tipos de opções reais que podem existir em um projeto.

No quinto capítulo, fez-se uma abordagem da teoria de processos estocásticos, seus principais movimentos e foi dada uma atenção especial ao tipo de movimento utilizado nesta dissertação (MGB).

No capítulo 6, explicou-se detalhes de custos e receitas de uma planta GTL, além de outras premissas necessárias ao projeto. Além disso, desenvolveu-se a variável estocástica do modelo, definindo-se seus parâmetros e foi avaliada a opção de parada temporária utilizando a SMC para analisar o projeto GTL.

O sétimo capítulo mostra as conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

No capítulo 8 estão contidas as referências bibliográficas.

## 2 Revisão Bibliográfica

Dixit & Pindyck (1994) definem investimento como o ato de incorrer em custos imediatos na expectativa de futuros ganhos. Brennan & Schwartz (1985), escreveram que os modelos de análise econômica originalmente derivavam de ambientes de certeza, tais como I. Fisher (1907), posteriormente (década de 50 e 60), com a evolução dos estudos e principalmente do ambiente competitivo vieram os primeiros modelos que levavam em consideração as incertezas naturalmente encontradas em um mercado competitivo.

Nos primórdios dos estudos das metodologias de investimentos, a taxa de desconto do fluxo de caixa representava apenas o valor do dinheiro no tempo, nada se falava a respeito de um determinado ganho relativo ao risco incorrido no investimento. Mas, foi na década de 60 – 1964/1965, através do modelo de “*Capital Asset Pricing Model*” (CAPM) que assim surgiram novos conceitos (risco diversificável e não diversificável) que revolucionaram os pesquisadores da época.

Essa teoria inovadora teve grande contribuição, principalmente porque conseguia relacionar *risco e retorno*, medindo o prêmio de risco de um ativo em relação ao mercado através da covariância do retorno desse ativo com o retorno do mercado como um todo.

Mas, foi o brilhante trabalho de Black & Scholes & Merton (1973), que estabeleceu as bases da moderna teoria das opções financeiras, onde conseguiram equacionar o problema das preferências, criando um modelo de avaliação de opções através de uma carteira livre de risco.

O primeiro modelo reconhecido da moderna teoria de Opções Reais OR (1979) foi de Tourinho, em sua tese de PhD em Berkeley, trabalhando com reservas naturais, mostrou que era possível analisá-las sob a ótica de um modelo de opções. Com isso, define-se Opções Reais como uma metodologia moderna para análise econômica de projetos e decisões de investimentos sob incertezas.

Segundo Copeland & Antikarov (2001): opções reais tem valor quanto maior for o cenário de incerteza e a flexibilidade de reação gerencial.

Então, esta metodologia não ficou somente no âmbito acadêmico. Está-se aplicando Opções Reais nos mais variados setores da indústria. Em seu livro, Trigeorgis (1996, pg.341), mostra que as aplicações da teoria das Opções Reais vêm recebendo crescente atenção das mais variadas corporações de todo o mundo. Seja no setor de mineração, de petróleo, nas áreas de terrenos urbanos ou até mesmo no setor farmacêutico, já estão utilizando OR para auxiliar as tomadas de decisões.

No caso particular de aplicação de Opções Reais em uma Companhia de Petróleo, que é o foco desta dissertação de mestrado, vê-se na literatura que há um vasto campo de aplicações da metodologia. Modelos específicos foram criados para analisar situações muito singulares, mas outros modelos mais abrangentes podem ser adaptados com pequenos ajustes para serem utilizados de maneira mais homogênea.

Este trabalho utilizará a teoria de Opções Reais para precificar o valor da flexibilidade de parada temporária de uma planta GTL, para produção de biocombustível.

## 3 A Planta Gas-to-Liquids (GTL)

### 3.1.Introdução

A década de 1990 assistiu a volta do processo *Fischer-Tropsch* ao centro das atenções da indústria de petróleo e gás natural no mundo. Esta tecnologia de conversão do gás natural em líquido foi desenvolvida nos anos de 1920, e colocada em operação em larga escala pela Alemanha durante a Segunda Guerra mundial, havia caído em desuso por causa dos baixos preços do petróleo e do desenvolvimento de um amplo mercado para o gás natural, que inviabilizaram esta tecnologia por muito tempo.

Porém, uma transformação radical movida pelo desenvolvimento e pela aplicação desta tecnologia reabilitou o cenário para o retorno da utilização comercial da conversão química do gás natural em combustíveis líquidos convencionais. O aumento das reservas de gás irrecuperáveis e o desenvolvimento de nichos de mercado para combustíveis sintéticos, em função da legislação ambiental, impulsionaram a volta dos interesses por parte das grandes empresas de petróleo por esta tecnologia.

Com esta moderna transformação no ambiente de aplicação, observa-se o desenvolvimento de vários projetos de plantas GTL no mundo inteiro, e uma verdadeira corrida tecnológica em busca do desenvolvimento de processos mais eficientes e baratos que viabilizem a implantação de um projeto GTL.

A conversão para combustível líquido é conhecida há mais de 70 anos. A tecnologia foi desenvolvida na década de 20, pelos alemães Franz Fischer e Hans Tropsch que introduziram o processo de conversão de gás de Síntese, produzido a partir do carvão, em combustível líquido. A partir deste desenvolvimento a tecnologia foi utilizada em escala comercial na Alemanha, especialmente durante a Segunda Guerra Mundial.

Atualmente, uma planta GTL é composta basicamente por três unidades. A primeira utiliza como insumo gás natural ou carvão mineral e oxigênio puro (ou ar atmosférico, dependendo da tecnologia) e produz gás de síntese; nesta unidade, o

gás reage com o oxigênio em altas temperaturas (variando de 800° C a 1500° C), podendo produzir um gás de síntese com diferentes proporções de H<sub>2</sub>/CO.

Na segunda unidade, que é o processo Fischer-Tropsch em si, o gás de síntese entra como insumo para produzir hidrocarbonetos com cadeias de carbono de diferentes tamanhos; geralmente a reação ocorre em temperaturas moderadas (variando de 200° C a 300° C) e pressão também moderada (variando de 10 a 40 bar). Para viabilizar este processo, normalmente utiliza-se um catalisador de cobalto ou ferro, e os produtos dessa etapa são os líquidos Fischer-Tropsch, além de gás, água e vapor que também são liberados no processo.

Por fim, a terceira unidade é responsável pelo *upgrade* dos líquidos que são transformados em derivados de alta qualidade, tais como: Diesel, Gasolina, Parafinas e Lubrificantes.

Até 2011, a Petrobras planeja ingressar no restrito grupo de empresas que dominam a tecnologia GTL. Livres de enxofre e particulados, ou seja, mais limpos, a perspectiva é que os combustíveis sintéticos resultantes do processo terão grande aceitação nos mercados externos e internos num curto prazo, dada a crescente restrição ambiental em torno da emissão de poluentes em centros urbanos.

Em nível mundial, 15 empresas detêm a tecnologia GTL. Hoje, apenas a anglo-holandesa Shell, a sul-africana Petro SA e a Sasol Chevron operam plantas em escala comercial.

### **3.2. Uma Breve História do GTL**

Em 1920, no Kaiser Wilhelm Institut Kohlenforschung, Alemanha, teve início o desenvolvimento da técnica original do trabalho pioneiro de Franz Fischer e Hans Tropsch, através do uso de catalisadores de ferro precipitado para a produção de hidrocarbonetos a partir do gás de síntese proveniente do carvão.

A reação de Sabatier-sanderens, precursora da síntese de Fischer-Tropsch, produz metano a partir do gás de água (mistura de CO e H<sub>2</sub>), obtido originalmente pelo tratamento do carbono com vapor d'água a temperaturas elevadas, (CAMPOS; 1977).

No ano de 1923, Fischer e Tropsch chegaram a produzir uma mistura de oxigênio e compostos orgânicos ainda descaracterizados como hidrocarbonetos. Já

em 1926, eles desenvolveram um novo processo e obtiveram hidrocarbonetos quase isentos de oxigênio. Com cadeias de carbono desde o etano até as parafinas sólidas. Em 1928, utilizando catalisadores de ferro-cobalto a uma temperatura de 190°C à pressão atmosférica, aqueles cientistas conseguiram obter uma mistura de hidrocarbonetos gasosos, como etano, propano e butano, e líquidos, como octano, nonano e isononano.

Em 1934, surgiu a primeira planta piloto de maior escala (7.240 barris/ano) construída na localidade de Oberhausen-Hoten pela empresa Ruhrchemie AG, que explorava carvão mineral. Essa planta foi o principal marco para o desenvolvimento e o sucesso tecnológico da síntese FT, que levou a construção de mais quatro plantas no ano seguinte, já com a utilização de catalisadores de cobalto, de maior durabilidade. O funcionamento das mesmas, cuja capacidade anual de produção era aproximadamente 800.000 barris/ano de gasolina, diesel, lubrificantes e derivados, abastecia mais de 70% do mercado automotivo alemão de combustível.

Já em 1944, com a expansão das plantas existentes e a construção de plantas adicionais foi atingido o pico de produção de 4,1 milhões de barris por ano, de combustíveis e derivados, com o uso do processo FT. O final da segunda Guerra Mundial e a derrota imposta aos alemães, associado ao fato de que grande parte das reservas de petróleo estavam sendo descobertas nos Estados Unidos, levou quase ao abandono desta tecnologia, que tornou pouco atrativa devido elevados custos e pela disponibilidade de petróleo no mundo.

Os norte-americanos, por sua vez, aproveitando o final da guerra, carregaram para seu país uma levada de grandes cientistas alemães, especialistas em vários ramos, inclusive no da síntese FT, os quais desenvolveram estudos até a construção, entre os anos de 1947 e 1949, de duas plantas-piloto com insumo de carvão vegetal, no sul dos Estados Unidos, visando aprofundar os estudos na síntese FT. Já no final dos anos 40, os EUA passaram a ser dependentes da importação de petróleo, uma vez que as reservas descobertas na década anterior eram exploradas na sua capacidade máxima, e a demanda do produto não era acompanhada por novas descobertas.

O programa americano de pesquisar combustíveis sintéticos foi aos poucos destruído, devido interesses políticos e econômicos, uma vez que o custo de produção do diesel e da gasolina do FT, não tinham condições de competir com os

custos dos combustíveis das refinarias tradicionais. O referido programa foi atacado por todas as suas vertentes, quer técnicas, comerciais ou estratégicas, e foi encerrado em meados da década de 50, levando a um atraso tecnológico de 20 anos, e apenas um complexo industrial de combustível sintético ficara em atividades na África do Sul. Sua capacidade instalada era de 8.000 barris por dia (bpd).

Porém, durante a década de 70, após o recrudescimento dos conflitos políticos e religiosos no oriente médio, ocorridos em 1973 e 1979, o mundo industrializado ocidental, que estava a mercê de um petróleo farto e barato, viu-se tolido das suas facilidades energéticas. Esses fatos foram preponderantes para que, a partir dos anos 80, houvesse a retomada aos estudos dos processos de conversão química de compostos de carbono e hidrogênio em líquidos combustíveis e lubrificantes. Com eles vieram, também, a chegada de investimentos que levaram à criação de novos ramos de atividades em grandes petroleiras, ou a criação de empresas, exclusivamente direcionadas para a revitalização daqueles antigos processos de produção de hidrocarbonetos líquidos sintéticos.

O processo GTL trouxe de volta o interesse de várias *holdings*, sendo que quatro dentre elas, Shell, Sasol, ExxonMobil e ConocoPhillips, têm realizado investimentos efetivos voltados para plantas de produção.

Cada processo para produção do gás de síntese, e da síntese de Fischer-Tropsch, é registrado pelo detentor do desenvolvimento da tecnologia. O número de patentes registradas tem crescido de forma vertiginosa desde 1973, a partir do conflito do Oriente Médio que gerou a primeira crise mundial do petróleo. Até então, não havia registro de patentes para o desenvolvimento daquelas tecnologias.

Entre 1975 e 2006, foram registrados nos EUA 1793 patentes para a produção do gás de síntese, e 3982 patentes para a síntese de Fischer-Tropsch, com grande intensificação a partir da década de 90. Nos últimos dez anos registrou-se o acréscimo de 57,6% de patentes, tanto para o gás de síntese quanto para a síntese FT conforme apresentado na Tabela 1.

Período	Gás de síntese	Processo Fischer-Tropsch
1976-1980	51	334
1981-1985	190	394
1986-1990	265	443
1991-1995	250	514
1996-2002	433	1008
2003-2006	604	1289
<b>Total</b>	<b>1793</b>	<b>3982</b>

Tabela 1 - Patentes mundiais para gás de síntese e para síntese FT. Fonte: (CALLARI, p26).

As empresas líderes neste seguimento desenvolveram e patentearam suas tecnologias para permitir comercialização e utilização na indústria petroquímica e de combustíveis e lubrificantes.

### 3.3.O Gás Natural

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos leves, que em condições normais de pressão e temperatura, permanece no estado gasoso. Na natureza, ele é encontrado em acumulações de rochas porosas no subsolo (terrestre ou marinho), em geral acompanhado de petróleo.

O gás natural pode ser classificado em duas categorias: associado e não associado. O gás associado é aquele que, no reservatório, encontra-se em companhia do petróleo, estando dissolvido no óleo ou sob forma de uma capa de gás, isto é, uma parte superior da acumulação rochosa, onde a concentração de gás é superior à concentração de outros fluídos como água e óleo.

O gás não associado é aquele que, no reservatório, está livre do óleo ou este se encontra em concentrações muito baixas. Na acumulação rochosa porosa, a concentração de gás é predominante, permitindo a produção basicamente de gás.

O gás natural é um hidrocarboneto que se apresenta no estado físico gasoso na temperatura e pressão ambiente, sendo constituído, em volume, principalmente por metano ( $CH_4$ ) – entre 70 e 98%, e etano ( $C_2H_6$ ) - entre 1 e 10%, podendo apresentar menores percentuais de propano ( $C_3H_8$ ), butano e isobutano ( $C_4H_{10}$ ),



nitrogênio ( $N_2$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), ácido sulfídrico ( $H_2S$ ), hélio (He), enxofre (S), água, além de componentes de cadeia maiores que 4 carbonos e traços de metais pesados (THOMAS; 2002).

Estas composições são consequência do material orgânico original de sua gênese, das rochas encaixantes e reservatórios nas quais foi formado e permaneceu armazenado no tempo geológico, e do ambiente de sedimentação e de formação a que esteve submetido durante os processos de catagênese (LEVORSEN; 2001).

### 3.3.1.

### 3.3.2. Aumento das Reservas Irrecuperáveis

O esforço na busca de reservas alternativas para o petróleo árabe, após os choques do petróleo na década de 1970, teve um grande impacto no aumento das reservas provadas de gás, que saltaram de 40 tmc, em 1970, para 140 tmc, em 1996. A relação reservas/produção aumentou de 59 anos, no final de 1985, para 65 anos, no final de 1996. Ou seja, a indústria do gás natural passa por um período de abundância de reservas de gás. Entretanto, essas reservas abundantes não se localizam nas regiões onde se concentram os mercados (Estados Unidos, Europa Ocidental e Japão e Sudeste Asiático), como se pode ver na tabela 2.

Região	Reservas	Produção	Consumo
Ex-União Soviética	40%	28%	22,4%
Oriente Médio	34%	8%	7,3%
EUA e Canadá	4,6%	32%	32,3%
América Latina	5,6%	5%	5,3%
Europa Ocidental	3,8%	12%	19%
Resto do mundo	12%	15%	13,7%

Tabela 2 – Distribuição das reservas e consumo de gás no mundo. Fonte: BP Statistics (1999).

A concentração das reservas de gás em regiões com baixo potencial de demanda, como a África Ocidental e parte da América Latina (Bolívia, Venezuela, Peru e Amazônia Brasileira), dificulta a exploração comercial dessas

reservas. Boa parte das reservas situadas a mais de 5.000 km dos grandes centros de consumo não são exploradas, pois os riscos associados a tais investimentos somados as distâncias dos grandes centros de consumo inviabilizam a exploração. Existe, portanto, um volume cada vez maior de reservas de gás a baixo custo que poderia ser explorada economicamente via tecnologia GTL.

### 3.4.Principais produtores de GTL

Note que atualmente a capacidade instalada de GTL é modesta, da ordem de 219.000 bpd, sendo 69.000 bpd, produzidos a partir de gás natural. A capacidade total dos projetos em implantação é de cerca de 174.000 bpd e em estudo, 800.000 bpd. Os principais operadores são Shell, ExxonMobil, Syntroleum e Sasol. Essas quatro empresas sintetizam bem a diversidade estratégica na competição pelas posições no futuro das tecnologias GTL.

Companhia	Local	Produto	Capacid. (bbl)	Carga	Processos
Sasol	Sasol burg e Secunda, África do Sul	Combustíveis e Produtos Especiais	150.000	Carvão	Sasol (Arge, SPD e Synthol)
PetroSA (Mossgas)	Mossel Bay, África do Sul	Combustíveis e Produtos Especiais	22.500	Gás Natural	Sasol (Synthol)
Shell	Bintulu, Malásia	Combustíveis e Produtos Especiaais	12.500	Gás Natural	Shell (SMDS)
Sasol e Qatar Petroleum	Ras Laffan, Catar	Combustíveis	34.000	Gás Natural	Sasol (SPDP)

Tabela 3 – Projetos industriais em operação. Fonte: (Petrobras, 2006).

A Tabela 4 apresenta os projetos de GTL das empresas Chevron-NNPC e Shell-Qatar Petroleum (a joint Venture Pearl) em andamento, ambas tendo o gás natural como insumo e, caso entre em operação, aumentaria a capacidade nominal produtiva de GTL, base gás natural, para 258.000 bpd.

<b>Companhia</b>	<b>Local</b>	<b>Capacidade (bbl)</b>	<b>Carga</b>	<b>Processos</b>	<b>Previsão de partida</b>
Chevron e NNPC	Escravos, Nigéria	34.000	Gás Natural	Sasol (SPD)	2007
Shell e Qatar Petroleum (Peart)	Ras Laffan, Catar	140.000	Gás Natural	Shell (SMDS)	Fase I 2009 Fase II 2011

Tabela 4 – Projetos de GTL em Andamento. Fonte: (PETROBRAS, 2006)

A Tabela 5 lista os projetos de GLT, base gás natural, que atualmente encontra-se em fase de estudo. Mais uma vez, pode-se notar a forte hegemonia das empresas Sasol e Exxon, atualmente as principais do setor.

<b>Companhia</b>	<b>Local</b>	<b>Capacidade (bbl)</b>	<b>Carga</b>	<b>Processos</b>
Sasol e Qatar petroleum	Catar	66.000	Gás Natural (ATR)	Sasol
Sasol e Qatar petroleum	Catar	8.500	Gás Natural (ATR)	Sasol
Sasol-Chevron	Catar	130.000	Gás Natural (ATR)	Sasol
ExxonMobil e Qatar Petroleum	Catar	154.000	Gás Natural (ATR)	Exxon Mobil
ConocoPhillips e Qatar Petroleum	Catar	160.000	Gás Natural (CPO)	Conoco
Marathon e Qatar Petroleum	Catar	120.000	Gás Natural (ATR)	Syntroleum

Tabela 5 – Projetos de GTL em estudo. Fonte: (PETROBRAS, 2006).

Assim, nota-se claramente o domínio da tecnologia GTL por quatro das maiores companhias do setor de energia. A Shell declarou que mantém investimentos em P&D em tecnologia GTL desde o final dos anos de 1940, isso faz com que esta empresa seja uma das pioneiras na produção de combustíveis sintéticos em sua fase de renascimento.

A ExxonMobil anunciou recentemente o desenvolvimento da segunda geração do seu processo conhecido como Advanced Gas Conversion (AGC-21). Trata-se de processos utilizando reator *slurry* e catalisador de cobalto. A estratégia principal da companhia é investir na melhoria dos processos de produção de gás de síntese e no sistema de reação Fischer Tropsch.

É interessante observar que todas as principais plantas de GTL em estudo, apresentam o Catar como principal local de instalação desse tipo de projeto de investimento. Isso começou no final da década de noventa, quando a Qatar Petroleum (QP) e Sasol of South Africa assinaram uma carta de intenção para construir e operar uma planta GTL na região de Ras Laffan.

Esta região passou a ser a capital mundial do GTL, pois apresenta um dos preços mais baixos do insumo (gás natural) da região do Oriente Médio. Isso porque, além de contar com uma das maiores reservas de Gás natural do mundo 25,77 trilhões de metros cúbicos, perdendo apenas para Rússia 47 trilhões de metros cúbicos e Irã com 26,69 trilhões, conta também com uma localização estratégica, que viabiliza a comercialização de seus produtos com os principais mercados da Europa e da Ásia.

O governo do Catar tem feito enormes esforços fiscais para atrair cada vez mais investidores que possam alavancar o setor de óleo e gás natural no país. Uma demonstração empírica deste fato, são os índices de renda percapita e produto interno bruto, que saltaram de US\$ 12.500 e US\$ 6,6 bilhões respectivamente no ano de 1990, para US\$ 18.630 e US\$ 14,1 bilhões em apenas dez anos. Resultado de fortes políticas de atração financeira através de incentivos fiscais, de uma economia que destina 90% de sua produção para exportação.

### **3.5.O Diesel GTL e as pressões ambientais**

O aumento das restrições ambientais aos combustíveis utilizados em grande escala constituiu um dos principais fatores de indução do desenvolvimento da tecnologia GTL. As crescentes restrições para a ventilação e queima do gás associado á produção de petróleo e a ampliação dos mecanismos internacionais para o controle no setor de transporte, estão construindo um ambiente favorável para a introdução de um combustível mais limpo.

As restrições à queimas em campos de gás associado, através de multas ou mesmo de uma carga tributária mais elevada, fizeram surgir uma grande oferta de gás a preços muito baixos. Este é o caso por exemplo, do gás associado na Nigéria ou em Angola, cujo não aproveitamento representa um custo para o produtor de petróleo. Este está disposto a viabilizar o aproveitamento do gás, mesmo que o preço recebido pelo produtor não pague totalmente os investimentos realizados para tal. Surge então um nicho de mercado importante para projetos GTL, visando aproveitar reservas que tem um custo de oportunidade negativo.

As restrições ambientais impostas a qualidade dos combustíveis são um grande incentivo para o GTL. Em primeiro lugar, essas exigências representam um custo adicional para as refinarias tradicionais. Estas devem enfrentar condições cada vez mais difíceis, pois vão ter que produzir com uma matéria prima cada vez pior (óleos cada vez mais pesados), e terão que produzir óleos cada vez mais limpos, pois o mercado tende a ser mais exigente, do ponto de vista ambiental.

Essas tarefas ficam cada vez mais difíceis se considerarmos um contexto de crescente competitividade e margens cada vez mais apertadas. Entretanto, mais do que a competição no longo prazo, muito bem estabelecida pelos conceitos microeconômicos, o que representa um incentivo muito importante é a abertura de nichos de mercado no curto prazo. Dadas as atuais restrições ambientais, o diesel metropolitano de GTL, é um potencial combustível que poderá ser utilizado na substituição dos combustíveis atuais.

A necessidade de combustíveis mais limpos, já definida com muitos atos, cartas e acordos entre países, como o *Clean Air Act* dos Estados Unidos, o *European Clean Fuel Charter* da Europa ou o *Protocolo de Kyoto* do Japão, vieram para impulsionar os estudos na produção de GTL, visando melhorar a qualidade da atmosfera do planeta e a redução dos efeitos indesejáveis causados pelo descontrole nas emissões de gases e particulados.

A qualidade dos produtos GTL, desde o tipo de insumo utilizado até os processos de síntese e FT, é diferenciada em relação ao diesel de refinaria. O produto GTL apresenta, principalmente o diesel, este óleo tem característica altamente desejável, tanto em termos energéticos quanto ambientais, conforme mostra a análise a seguir, comprovada pelo US Depart. Of Energy:

Índices de Cetano elevado (acima de 70 – diesel convencional entre 48 e 50)

- Baixíssima emissão de enxofre (< 1ppm);
- Baixíssima emissão de aromáticos ( 1% em volume);
- Baixo ponto de névoa (-10°C);
- Baixas emissões (comparadas com o diesel médio americano, baseada em estudos do Southwest Research Institute.

8% menos moléculas NOX

30% menos partículas

38% menos HC

46% menos CO

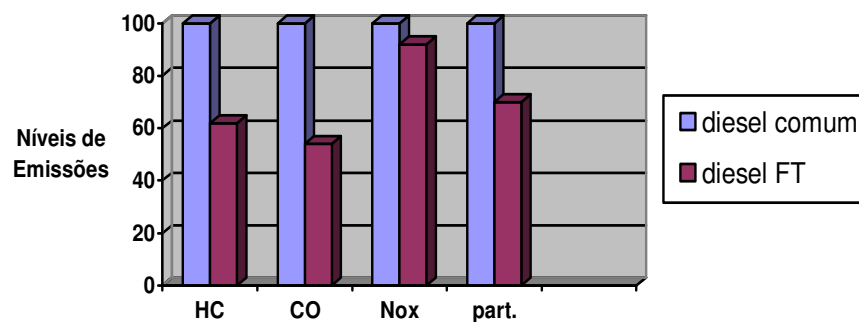


Figura 1 – Comparação do Nível de Emissões.

### 3.6.A tecnologia GTL + Gaseificador

A tecnologia GTL + Gaseificador é um processo baseado na produção de gás de síntese através da combustão de Gás Natural/Carvão Mineral que em uma segunda fase será transformado em Hidrocarbonetos de cadeia alta através do processo de Fischer-Tropsch e em uma etapa final haverá o Hidrocrackeamento da cadeia para a produção de compostos de bom valor agregado (Diesel, Lubrificantes, Nafta e Parafina).

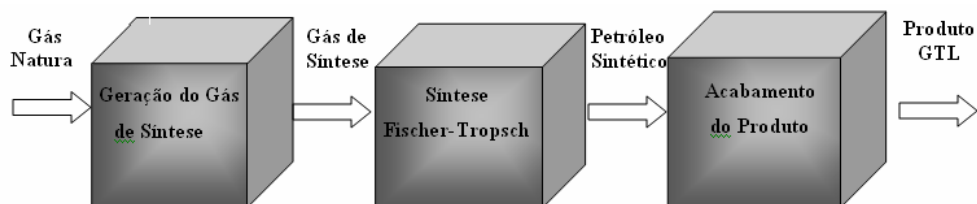


Figura 2 – Processo GTL + Gaseificador.

### 3.6.1.O Gás de síntese

O gás de síntese é a matéria-prima para o processo Fischer-Tropsch, sendo esta etapa considerada uma das mais importantes da conversão do gás natural em hidrocarbonetos líquidos. A planta de geração do gás de síntese corresponde a cerca de 50% dos custos de capital de uma usina GTL. Por isso, o grande esforço de inovação e melhoria dos processos, por parte das empresas que investem nesta tecnologia.

Atribui-se o nome de gás de síntese a uma mistura de hidrogênios ( $H_2$ ) e monóxido de carbono (CO). A razão  $H_2/CO$  varia conforme o tipo de insumo, que pode ser qualquer material que contenha carbono e hidrogênio, e também com o método de produção da mistura.

Durante a segunda Guerra Mundial o carvão era o insumo mais abundante e a mistura gasosa obtida pela sua gaseificação era utilizada para gerar o gás de síntese, o qual era submetido ao processo FT visando a produção de hidrocarbonetos na faixa da gasolina. A gaseificação do carvão é até hoje utilizada e a tecnologia de produção de combustível sintético a partir deste é denominado Coal-To-Liquids (CTL).

Os processos de conversão de gás natural em produtos líquidos podem ser divididos em dois tipos: processos de conversão direta e processos de conversão indireta.

Os processos de conversão direta utilizam catalisadores e rotas de síntese específicas para transformar quimicamente as moléculas de metano, o principal constituinte do gás natural, em substâncias mais complexas e de maior peso molecular. Os produtos líquidos que podem ser obtidos incluem os álcoois (principalmente o metanol), as olefinas e os aromáticos (benzeno, tolueno e naftaleno). Entretanto, a alta estabilidade da molécula de metano traz uma série de problemas técnicos para viabilizar as reações químicas envolvidas. Assim, os esforços de pesquisa e desenvolvimento dos processos de conversão direta estão focados na melhoria dos catalisadores, na ulucidação dos mecanismos de reação e no desenvolvimento de novos equipamentos (Martin, 2001). A conversão direta encontra-se ainda em um estágio inicial de pesquisa.

Ao contrário dos processos de conversão direta, a rota indireta é tecnicamente mais fácil. Os processos envolvidos estão mais bem estudados e já

existem diversas plantas piloto e comerciais em operação. Os processos de conversão indireta são caracterizados por uma etapa preliminar de transformação do gás natural em gás de síntese (mistura de monóxido de carbono – CO e hidrogênio – H<sub>2</sub>). Após ser produzido, o gás de síntese é convertido em hidrocarbonetos líquidos através do processo de Fischer-Tropsch (FT).

Existem pelo menos cinco formas diferentes de tecnologias disponíveis para a geração de gás de síntese. Entre elas, podemos citar: a reforma a vapor (SMR), Oxidação parcial (POX) e a reforma auto-térmica (ATR) este último é o processo mais utilizado quando se fala de tecnologia GTL.

### 3.6.2.Reforma Auto-térmica (ATR)

O processo ATR pode ser definido como a combinação de reforma a vapor e da oxidação parcial utilizando para tal o mesmo reator.

O reator é um cilindro reto pressurizado com redução de diâmetro da base para o topo, de modo a criar uma zona de combustão onde se localizam os queimadores. O catalisador encontra-se no ponto de maior diâmetro do cilindro. O gás natural e o O<sub>2</sub> seguem para o reator em duas correntes separadas. O gás entra no topo e flui para a base pelo anular, entre os tubos internos e externos do queimador de O<sub>2</sub>.

O gás oxigênio (O<sub>2</sub>) e uma quantidade de vapor fluem pelo tubo interno e saem, como produto pelo fundo do reator. A corrente de vapor é adicionada de modo a auxiliar no controle e na estequiometria da reação de obtenção do *syngas*. Na câmara de combustão, as duas correntes são misturadas e queimadas em uma chama sub-estequiométrica. Os gases aquecidos fluem pelo leito catalítico onde o *syngas* está em equilíbrio. A temperatura de saída da zona de combustão fica na faixa de 1200-1250 °C, sendo necessário um catalisador de alta estabilidade térmica, como o catalisador de níquel suportado sobre magnésio e alumínio. A temperatura de saída do leito catalítico é de 870-955 °C.

Na prática a razão H<sub>2</sub>/CO é sempre inferior ao que mostra o balanceamento estequiométrico da reação química do processo. Como a reação trabalha com excesso de reagentes, e também há a geração compulsória dos produtos dióxido de



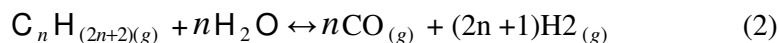
carbono e água na oxidação do metano, uma simplificação poderia ser expressa pela seguinte reação:



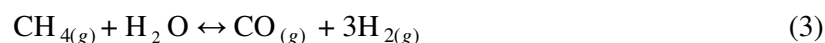
### 3.6.3.Reforma a Vapor do Metano (SMR)

O SMR é uma reação química cuja energia total (entalpia) dos seus produtos é maior que a de seus reagentes, ou seja, ela absorve energia (reação endotérmica), isso acontece em um reator tubular, na presença de catalisador a base de níquel (Ni) ou cobalto (CO), colocado em um forno com queimadores laterais ou de topo.

Opera com excesso de vapor, em relações estequiométricas de  $\text{H}_2\text{O}_v$  :  $\text{CH}_4$  variando de 2:1 a 4:1, com temperatura na faixa de 750 a 900 °C, e pressão no intervalo de 20-50 atm. A tabela 3.6 apresenta a composição de saída para o gás de síntese do SMR com pressão de 24 atm, temperatura igual a 890°C e estequiometria de entrada,  $\text{H}_2\text{O}$ :  $\text{CH}_4$  igual a 3:1. O processo ocorre conforme mostra a reação abaixo.



Aplicando nesta reação o gás metano como reagente, teremos:



Composto	H2	CO	CO2	CH4	H2Ov	H2:CO
% Volume	51	10,4	5	2	31,6	3

Tabela 6 - Composição do gás de síntese na saída do SMR. Fonte: (SONG E GUO, 2005).

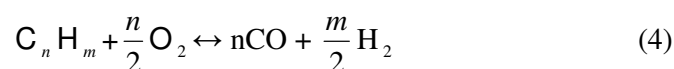
### 3.6.4.Oxidação Parcial (POX)

Processo não catalítico onde ocorre a reação do gás natural com oxigênio ( $\text{O}_2$ ) em alta temperatura e pressão, objetivando a produção do gás de síntese. O reator onde o processo ocorre é uma peça refratária e pressurizada dotada de

queimadores. A entrada do gás ocorre através dos queimadores, localizados no topo do reator, e o produto sai pelo fundo do reator.

Por não possuir catalisador, a temperatura do processo pode ser mais elevada, normalmente operando na faixa de 1200-1500°C, para que ocorra a conversão quase que completa do metano.

A quantidade de oxigênio a ser injetada no processo deve ser a ideal para que ocorra a combustão insuficiente do metano, ou seja, uma parcela do metano deverá reagir para ser possível a formação do *syngas*. O processo ocorre de acordo com a reação abaixo.



Segundo Song (2005), a maior vantagem do POX é a sua versatilidade no quesito matéria prima, pois é capaz de processar, inclusive, hidrocarbonetos pesados.

Muitos investimentos têm sido feito, na busca de um aperfeiçoamento tecnológico que consiga viabilizar a implantação das plantas GTL. O principal problema técnico a ser solucionado é a geração de gás de síntese em uma relação  $H_2/CO$  igual a 2. Esta relação ideal permite otimizar o processo de conversão por Fischer-Tropsch. Apesar dos indicativos em contrário, testes utilizando insumos com baixas razões de vapor/carbono, realizados pelas empresas Haldor-Topsoe e Sasol, tiveram sucesso. Estes desenvolvimentos aumentam significativamente a eficiência global do processo, melhorando a viabilidade econômica das plantas e as perspectivas de comercialização da tecnologia por estas empresas.

Não menos importante a Syntroleum tem concentrado seus esforços de pesquisa para o desenvolvimento de uma tecnologia que substitui o emprego de oxigênio puro por ar atmosférico, com a redução dos custos de capital das unidades de geração de gás de síntese. Na mesma direção, a Exxon Chemical está desenvolvendo um reator de leito fluidizado para a geração de gás de síntese com a utilização de ar atmosférico. O processo tem sido testado em uma unidade piloto de 220 bpd.

Nos últimos anos, uma nova tecnologia também tem despertado a atenção das empresas e pesquisadores: o processo de reforma por membrana catalítica.

Esse processo guarda as mesmas características básicas do processo de reforma auto-térmica. Entretanto, substitui-se a planta de suprimento de oxigênio por uma membrana seletiva a este gás, reunindo a separação de ar e a oxidação parcial em uma única operação unitária.

As pesquisas tem sido dirigidas por dois consórcios de empresas. O primeiro formado por: Air Products, ARCO, Ceramatec, Eletron Research, Agonne National Laboratory, Babcock&Wilcox, Chevron, Norsk Hydro, Pacific Northwest National Laboratory, Pennsylvanic State University e University of Alasca, com um custeio de 35% por parte do U.S. Department of Energy. O segundo é formado pelas empresas BP-Amoco, Praxair, Statoil, Philips Petroleum e Sasol. A opção pela formação de consórcios, ao invés da realização de pesquisas isoladas, indica que as empresas do setor estão dispostas a dividirem o risco. O desenvolvimento dessa tecnologia é apontado como uma das rotas mais promissoras na viabilidade econômica das plantas GTL.

### **3.7. O processo de Fischer- Tropsch (FT)**

Este é o estágio mais importante de todo o processo. Nele, o gás de síntese é convertido em hidrocarbonetos líquidos por meio de uma reação catalítica. O processo FT produz uma mistura de hidrocarbonetos parafínicos e oleofínicos de cadeia longa, cujas fases ocorrem em um reator catalítico a temperaturas entre 200 e 300°C e pressão entre 10 e 40 bar.

O objetivo principal é minimizar a produção de metano e etano e maximizar a produção de graxa e nafta. A reação produz como subproduto água e calor em baixa temperatura (230°C). O processo de baixas temperaturas origina um sintético ultralimpo que é virtualmente isento de enxofre e aromáticos.

A tecnologia GTL teve forte avanço, durante a década de 90, através de novos estudos sobre os processos FT. Isto foi possível através da substituição dos catalisadores de ferro usados até então por catalisadores de cobalto, que permitem maior eficiência aos processos de conversão.

Atualmente, existem duas opções bem definidas: o processo FT a baixas temperaturas e o processo a altas temperaturas. O primeiro é empregado na produção de ceras que, após a etapa de hidroprocessamento, são convertidas em

nafta ou óleo diesel. O segundo processo é utilizado na produção de gasolina e de alfa-oleofinas (Wakatsuki, 2001 e Voss, 2002).

Devido à reação de conversão ser extremamente exotérmica, várias pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de desenvolver novas configurações dos equipamentos, permitindo um aproveitamento energético mais eficiente. Além de desativar os catalisadores, as altas temperaturas provocam a formação de fuligem, que se deposita na superfície dos reatores, com perdas de produtividade. A Sasol, empresa fornecedora da tecnologia FT, tem realizado significativos esforços de pesquisa e desenvolvimento nessa área (Hill, 1998).

### **3.8. Hidroprocessamento**

O hidroprocessamento é responsável pela agregação mais nobre de todo o processo. É a terceira etapa de conversão que é utilizada para o tratamento de cera produzida no processo FT a baixas temperaturas. A cera é composta basicamente de parafinas lineares e pequenas quantidades de oleofinas e oxigenados. A hidrogenação das oleofinas e dos compostos oxigenados, além do hidrocraqueamento da cera, pode ser realizada em condições não muito severas, com a produção de nafta e óleo diesel.

Entretanto, a busca tecnológica nesta área é bem menor que os relacionados aos catalisadores de FT e a produção de gás de síntese, por ser um processo comum à indústria do refino, onde os equipamentos já são bem conhecidos e a tecnologia bem difundida.

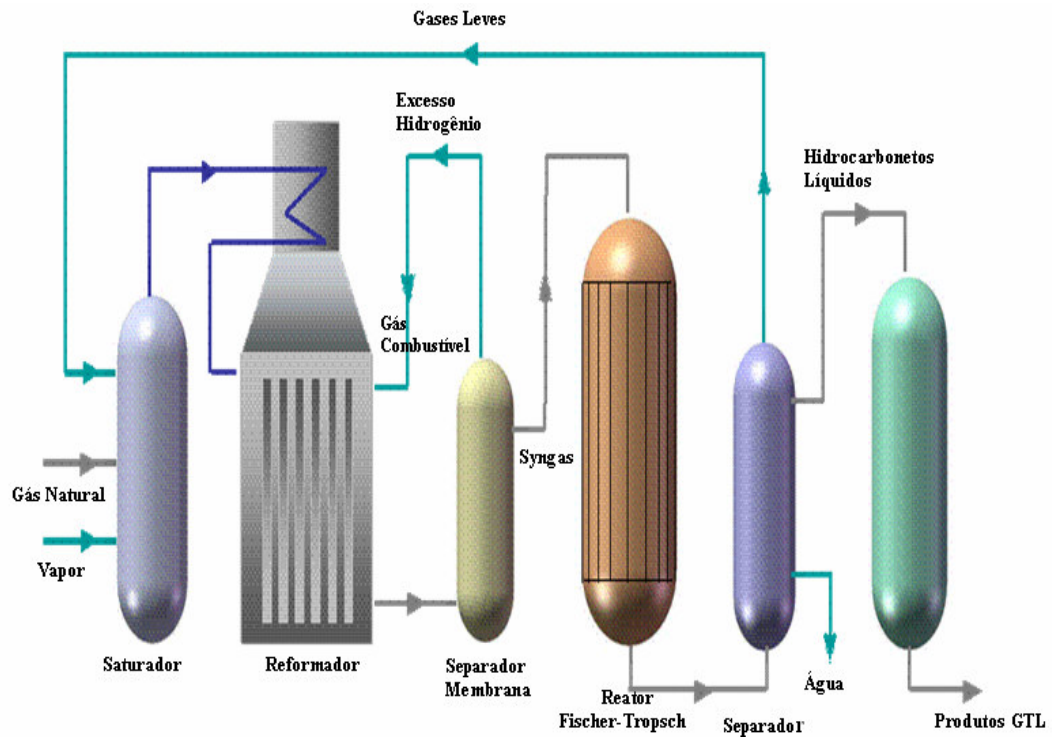


Figura 3 – Processo Fischer-Tropsch da British Petroleum.



## 4 Opções

Dixit & Pindyck (1994) definem investimento como sendo o ato de incorrer em custos imediatos na expectativa de futuros ganhos. Numa analogia com o retorno de uma ação, o retorno de qualquer investimento pode ser decomposto em duas parcelas: dividendos mais ganhos de capital. A maioria das decisões de investimento tem em comum três importantes características que devem ser consideradas como fundamentais por um tomador de decisões.

O primeiro fator a ser analisado é a questão da irreversibilidade do investimento, ou seja, o investimento é avaliado como parcial ou completamente irreversível. Isto porque o custo inicial do investimento é no mínimo parcialmente afundado. A construção de uma planta GTL é um exemplo de investimento irreversível, uma vez que o custo com gastos será maior que o valor da revenda do material usado. Já quando se investe primeiramente em P&D para analisar a viabilidade da planta, os custos irreversíveis serão menores (parciais) caso não seja lucrativo prosseguir com o projeto.

Desta forma, a maioria dos custos de investimentos são considerados custos afundados (*sunk cost*). Logo, a irreversibilidade faz com que a espera tenha valor. Deve-se valorizar a espera antes de fazer uma ação irreversível. Somente quando a probabilidade de insucesso é significativamente baixa é que o investidor tem incentivo suficiente para exercer sua opção. A espera é reversível, com exceção nos investimentos do tipo “agora ou nunca”.

O segundo fator em questão é a incerteza a respeito dos fluxos de caixa futuros esperados do projeto. Isso porque, deve-se levar em consideração que o mercado está constantemente se modificando, e suas tendências acompanham este ritmo. Assim, não é fácil prever a remuneração do projeto de investimento para períodos futuros e a possibilidade de se cometer erros é bem grande. Neste caso o melhor a se fazer é avaliar as probabilidades de ocorrência dos resultados possíveis e verificar qual é a probabilidade de se tomar a decisão que maximizará seus ganhos.

Difícilmente um investimento pode ser visto como uma oportunidade do tipo agora ou nunca, tal pensamento faz da teoria de opções reais uma metodologia capaz de captar flexibilidades importantes para tomada de decisões. E é este *timing* do investimento, que dá ao investidor a oportunidade de escolher o melhor momento para fazer o investimento, ou seja, de tomar a decisão de investir imediatamente ou adiar o investimento até que um cenário mais favorável ou de novas informações aconteçam. Este fator *timing* é o terceiro fator da seqüência acima.

Porém, cabe ressaltar, que é impossível obter-se completa certeza a respeito de futuros acontecimentos, principalmente quando estes fogem do controle do tomador de decisões.

#### **4.1.Métodos Determinísticos de Análise de investimentos**

Empresas e investidores em geral estão sempre investindo em projetos de ativos reais dos mais variados tipos. No momento de investir, a questão mais relevante é o quanto vale o investimento. Somente a partir dessa informação serão tomadas as decisões.

A avaliação realizada pelo método do fluxo de caixa descontado (FCD) se baseia no princípio de que o valor de um negócio é medido pelo valor dos benefícios futuros que serão obtidos ao longo do tempo. Estes fluxos futuros são descontados para um valor presente por meio da utilização de uma taxa de desconto apropriada que reflita os riscos inerentes aos fluxos estimados. Os modelos clássicos de orçamentação de capital mais comumente utilizados pelas corporações (FCD) se utilizam basicamente do critério do Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR). Assim, nesta seção, serão abordadas questões importantes acerca do modelo FCD.

##### **4.1.1.Critério do Valor Presente Líquido (VPL)**

Este critério consiste na soma dos fluxos de caixa líquidos, proporcionados pelo investimento em determinado projeto, trazidos a valor presente a uma taxa de desconto predeterminada, sendo este subtraído do valor do investimento inicial, conforme visto pela fórmula a seguir:



$$VPL = \frac{\sum_{i=1}^T E(FC_i)}{(1+k)^i} - I_c \quad (5)$$

Onde: T é o período de tempo esperado do projeto;  $I_0$  é o investimento inicial; K é a taxa de desconto; E(CF) é o valor esperado dos fluxos de caixa de cada período.

O cálculo de K exige um conhecimento prévio do risco do projeto em questão. Isso, entretanto, nem sempre é fácil de calcular. Em princípio, cada projeto possui seu próprio custo de capital. Para simplificar o cálculo de K, as firmas em geral, costumam agrupar projetos similares em classes de risco, como se o risco de cada projeto fosse correlacionado apenas com o setor em que está inserido. Então, usa-se o mesmo custo de capital para projetos de uma mesma classe ou setor.

Para calcular esta taxa de desconto, existem dois métodos clássicos utilizados no mercado: Capital Asset Pricing Model (CAPM) e Custo Médio Ponderado do Capital (WACC)-Weighted Average Cost of Capital.

#### 4.1.1.1. Capital Asset Pricing Model (CAPM)

Segundo Brealey & Myers (1992), o CAPM é o modelo mais recomendado para precificação de ativos. Seu cálculo fundamenta-se em uma equação que demonstra a relação entre retorno esperado e beta ( $\beta$ ).

$$\mu = r + \beta(rm - rf) \quad (6)$$

Onde: r - é a taxa livre de risco; rm - é o retorno do mercado;  $\beta$  - “beta” do projeto (ou ativo) = medida de covariância;  $\beta (rm - rf)$  - prêmio de risco.

Lembrando que o retorno de um investimento é composto pelo ganho de capital mais dividendo ( $\mu = \alpha + \Pi$ ). Para calcular o custo de capital deste trabalho a metodologia utilizada foi o CAPM.

#### 4.1.1.2. Custo Médio Ponderado do Capital (WACC-Weighted Average Cost of Capital)

Considerando o fato de que a maioria das empresas utilizam capital próprio e de terceiros para viabilizarem seus projetos e atividades operacionais, isso faz com que a taxa de desconto a ser utilizada represente o custo global de capital, ou

o custo médio ponderado do capital WACC. Esta taxa é obtida mediante o cálculo da média ponderada de todos os custos de financiamentos de curto, médio e longo prazo, utilizados por uma empresa para financiar suas atividades. Essa taxa de desconto deve representar diferentes custos de capital associados. Nesse sentido, a taxa de desconto deve representar o ganho projetado pelos investidores, levando em consideração o risco associado ao negócio. Assim, temos:

$$K(\text{WACC}) = K^{CP} \left( \frac{CP}{V} \right) + K_d (1-T) \left( \frac{D}{V} \right) \quad (7)$$

Onde:  $K_{CP}$  - custo do capital próprio; CP – valor de mercado do capital próprio; D – valor de mercado da dívida; V – valor de mercado da empresa.  $V = CP + D$ ;  $K_d$  - custo marginal da dívida; T – alíquota marginal do imposto de renda.

Assim, resolvido o problema da taxa de desconto, a análise do VPL baseia-se na aceitação do projeto, caso o valor calculado seja positivo, pois significa que o projeto é viável do ponto de vista econômico e financeiro, e caso o valor do VPL seja negativo, rejeita-se o investimento, pois o projeto não é viável do ponto de vista econômico e financeiro.

#### 4.1.2. Critério da Taxa Interna de Retorno (TIR)

A metodologia utilizada pela Taxa Interna de Retorno (TIR), é muito semelhante a metodologia utilizada pelo VPL, pois consiste na taxa de desconto que leva o VPL a zero. A TIR consiste em comparar a taxa interna com o custo de oportunidade do capital. Caso a TIR seja maior do que o custo de oportunidade do capital, o projeto é considerado viável. Mas, apesar desta metodologia ainda ser muito utilizada para tomadas de decisões de investimentos, esta, apresenta alguns problemas, tais como:

- Projetos de longa duração e intensivos em capital tendem a não apresentarem viabilidade pelo critério da TIR, mesmo apresentando um VPL relevante, ou seja, a utilização deste critério é mais conveniente em projetos de curta duração;
- Violação do princípio da aditividade: a escolha entre projetos mutuamente exclusivos muda, caso eles sejam combinados a um terceiro projeto e a ocorrência de múltiplas TIRs, caso ocorra mais de uma mudança de sinal nos fluxos de caixa estimados;

o Hipótese de reinvestimento: O cálculo da TIR assume implicitamente que todos os fluxos de caixa gerados pelo projeto podem ser reinvestidos à TIR.

Segundo Moskowitz (2003), apesar de todas as críticas e limitações em sua utilização, a vantagem do critério da TIR é que quando utilizado corretamente fornece resultados equivalentes ao VPL e proporciona mais fácil compreensão dos mesmos, já que os gerentes e as pessoas em geral, estão acostumados a utilizar percentuais de retornos na vida cotidiana.

#### **4.1.3.Limitações Quanto ao Critério Clássico do FCD**

Ao analisar um projeto pela metodologia do FCD, é importante perceber que, apesar da aparente simplicidade do critério clássico (determinístico), ele demanda um conhecimento profundo acerca do estado da economia e sobre o setor em questão, para a determinação dos fluxos de caixa e para a correta determinação da taxa de juros a ser utilizada para o desconto.

Porém, observa-se por esta abordagem que a regra do VPL não captura pontos importantes, entre eles a flexibilidade gerencial de rever e adaptar suas decisões após o investimento em resposta a variações inesperadas do mercado. A análise tradicional desconsidera o fato de que o nível de risco do projeto é afetado pela flexibilidade que as decisões gerenciais proporcionam, ou seja, a teoria clássica supõe que o investidor inicia o projeto imediatamente (não captura a opção de esperar) e que o opera continuamente (não captura a opção de abandonar) a uma dada escala (não captura a opção de contrair ou expandir) até o fim da sua vida útil.

Assim, pela análise clássica, quanto maior for o nível de incerteza mais baixo será o valor do ativo. Com a teoria das opções reais ocorre o oposto, o aumento da incerteza pode levar a um crescimento no valor do ativo, caso os gerentes sejam capazes de identificar a oportunidade.

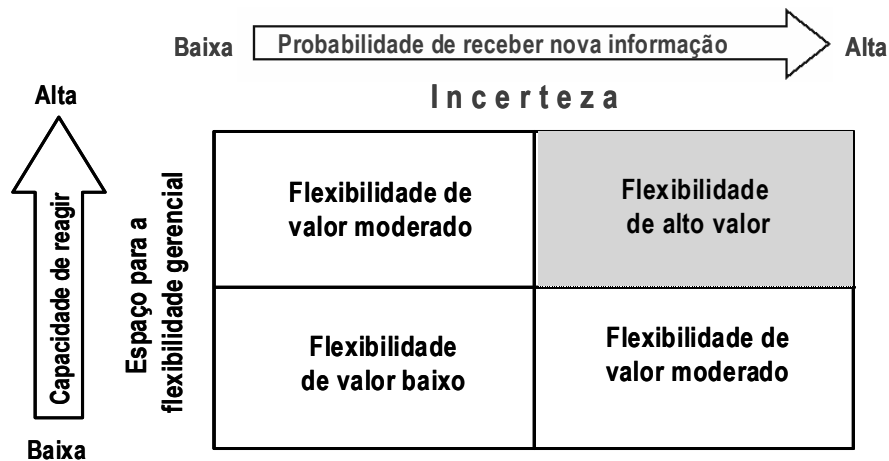


Figura 1 - Valor da opção aumenta com o aumento da flexibilidade segundo a teoria de OR. Fonte: Copeland e Antikarov (2001)

No caso da análise clássica, a única maneira de considerar este efeito é através de ajustes arbitrários na taxa de desconto. A explicação para o uso de taxa de desconto muito elevada, que prejudica a avaliação de oportunidade de investimento, pode ser o uso impróprio das taxas de desconto como fator de ajustamento dos valores estimados do projeto a riscos não bem determinados.

Outra crítica feita a este método tradicional é que ele é mais facilmente utilizado em empresas que apresentem fluxos de caixa positivos, os quais possam ser confiavelmente estimados para períodos futuros, e onde exista um substituto para o risco que possa ser utilizado para a obtenção de taxas de desconto. Entretanto, sabe-se que dificilmente encontra-se um projeto com tais características.

Por fim, um comentário relevante que leva a um entrave na utilização da metodologia do FCD, é o fato de que em situações de elevada incerteza, esta metodologia vem se mostrando insuficiente para avaliar investimentos nos mais variados setores da economia, isso porque não conseguem capturar o valor das flexibilidades contidas em projetos de investimentos sob incerteza.

Também Trigeorgis (1996) critica o modelo tradicional por este caráter estático que apresenta ao ser usado para análise de um projeto. Segundo o autor, o modelo tradicional de fluxo de caixa descontado (VPL tradicional) assume implicitamente um “cenário esperado” de fluxos de caixa, presumindo um comportamento de comprometimento de gerência com uma determinada estratégia operacional. Entretanto, quando se está inserido em um cenário competitivo, cheio de incertezas e dinamismo, é impossível, ou pelo menos

inadequado se pautar neste tipo de comportamento. Conforme as incertezas sobre o mercado forem se revelando, com a chegada de novas e úteis informações, a gerência deve ter a flexibilidade para alterar a estratégia de operação inicial, podendo capitalizar oportunidades a fim de evitar perdas.

Devido a todos estes problemas apontados no que diz respeito à utilização do FCD, desde a década de 1980, têm-se considerado outras questões importantes na avaliação de investimentos além da previsão de fluxos de caixa. A competitividade e o dinamismo dos mercados atuais consideram essencial a inclusão da análise do valor das flexibilidades para análise de investimentos.

## 4.2. Teoria das Opções Reais - TOR

### 4.2.1. Opção

Uma opção de compra (*call*) do tipo europeia sobre um determinado ativo  $W_t$  é um direito (mas não a obrigação) de comprar  $W_t$  a um preço pré-definido de exercício  $K$ . Esse direito deve ser exercido na data de expiração  $T$  da opção. A opção de compra pode ser comprada ao preço  $C_t$ , chamado de prêmio, em  $t \leq T$ . Uma *put* – opção de venda – é similar a *call* – opção de compra -, porém dá ao detentor o direito de vender o ativo a um preço pré-determinado na data  $T$ . Em contraste com as opções europeias, as opções americanas podem ser exercidas a qualquer momento entre sua subscrição e a data  $T$  (expiração do contrato).

A oportunidade de investir em um projeto é análoga a uma *call*. Se não houver um custo de oportunidade de espera ou dividendos, o detentor pode adiar a decisão de investir até a data de expiração. Diz-se que o investidor racional só exerce a opção se o preço do ativo básico evoluir favoravelmente ao seu exercício. No caso da *call*, ele só exerce se  $V$  for maior que  $K$ .

Se  $V$  é o valor do ativo básico e  $K$  é o preço de exercício da opção. Na data de expiração  $T$  a opção  $F$  só deve ser exercida se  $V > K$ . Valor da opção na expiração é  $F(T) = \text{Máx. } [V(T) - K, 0]$ .

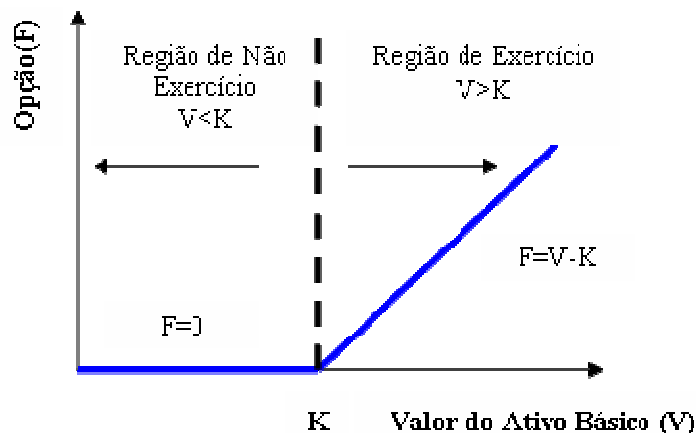


Figura 2 – Valor de uma call na data de vencimento.

No caso de uma *put* o detentor da opção só irá exercê-la caso o valor do ativo básico seja menor do que o preço de exercício. O gráfico abaixo mostra a região onde os valores de  $K$  maiores que  $V$  representam a região de exercício para o caso da *put*.

Na expiração, a opção de venda sobre um ativo que vale  $V$  e com preço de exercício  $K$  valerá:

$$F(T) = \text{Máx. } [0, K - V] \text{ ou seja, só exerce a opção se } V < K.$$

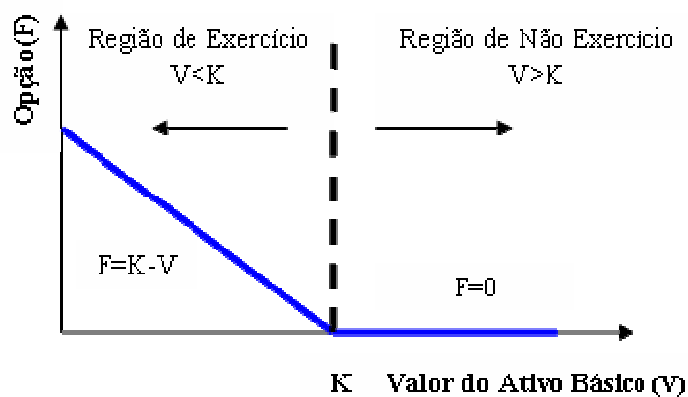


Figura 3 - Valor de uma *put* na data de vencimento.

Os contratos de opções financeiras são títulos derivativos escritos sobre ações, índices de bolsas, câmbios estrangeiros, mercadorias agrícolas, metais preciosos e taxas futuras de juros. Já as opções reais (OR) derivam de um ativo real.

Porém, o comportamento das opções reais é visto como uma extensão do comportamento das opções financeiras. As opções financeiras são detalhadas no contrato, enquanto as opções reais são vistas em estratégias de investimento. As principais diferenças entre opções reais e as opções financeiras são:

- No caso das opções financeiras, o tempo de expiração é geralmente de curto prazo (menor do que um ano) e as opções reais geralmente são mais longas, podendo ser até perpétuas;
- Para o caso das opções financeiras, seus ativos, tais como as ações, não podem ter valor negativo, já no caso das opções reais, um projeto pode ter um valor negativo.
- As opções reais são mais complexas que as financeiras: é comum ter opções reais compostas, presença de incertezas técnicas além da incerteza de mercado, e interações estratégicas com outras firmas.
- Nas opções financeiras, não há tempo de construção de ativo, já em opções reais, há um tempo de construção do bem real(fábrica, planta GTL...).

A tabela abaixo faz uma analogia entre opções financeiras e opções reais.

Opção Financeira de Compra	Opção Real
Preço da Ação	Valor do Projeto
Preço de Exercício da opção	Custo de investimento do Projeto
Taxa de Dividendo	Fluxo de Caixa Gerado pelo Projeto
Taxa Livre de Risco	Taxa Livre de Risco
Volatilidade	Volatilidade do Valor do Projeto
Tempo de Expiração da Opção	Tempo de Expiração da Opção da Oportunidade de Investimento

Tabela 1 - Comparando opção financeira com opção de investimento real.

Com relação à probabilidade de exercício da opção, existem alguns jargões utilizados no ambiente financeiro para caracterizar se o momento analisado é bom ou não para o exercício da opção. Por exemplo: diz-se que a opção está “*in the money*” ou “no dinheiro”, quando o preço de exercício da opção é maior do que o preço do ativo no caso de uma *put* e o contrário no caso de uma *call*. Diz-se

também que a opção está “deep in the money”, quando ela está *madura*, ótima para o exercício imediato. A opção pode ainda ser classificada como “*at the money*”, que é quando a opção de compra *call* ou venda *put* tem preço de exercício igual ao preço da ação. E ainda tem-se o caso onde a opção é dita fora do dinheiro “*out of the money*” quando temos uma opção de compra cujo preço de exercício é maior do que o preço à vista ou uma opção de venda cujo preço de exercício é menor do que o preço à vista.

#### 4.2.2. Opções Reais

A teoria de opções reais é uma metodologia consolidada para análise de investimentos sob condições de incerteza. Essa teoria surgiu como uma aplicação da teoria das opções financeiras e com o objetivo de preencher um espaço deixado pela teoria clássica de análise de investimentos.

Segundo Trigeorgis (1993), a expansão no valor da oportunidade de investimento é refletida no  $VPL_{expandido}$  que reflete o  $VPL_{tradicional}$  e o valor da opção operacional e estratégica, tem-se:

$$\mathbf{VPL_{expandido} = VPL_{tradicional} + Valor da Opção}$$

O  $VPL_{expandido}$  é sempre maior ou igual ao  $VPL_{tradicional}$ , já que pode incluir valiosas opções gerenciais embutidas no projeto. A idéia é adicionar o valor da opção ou das opções, pois se não assim for, o FCD subestima os investimentos.

##### 4.2.2.1. Tipos de Opções Reais

Existem diversos tipos de opções reais operacionais. Algumas ocorrem naturalmente (sem custo adicional) nos investimentos (opção de adiar, contrair, parar temporariamente, fechar e abandonar o investimento) e outras podem ser planejadas e empreendidas a um custo adicional (opção de expandir e trocar de uso, por exemplo). Os principais tipos são vistos a seguir.



#### 4.2.2.1.1. Opção de Adiar um Investimento (opção de espera)

Uma das opções mais frequentes nos investimentos em ativos reais é a opção de adiar o investimento. Tradicionalmente, os projetos são analisados com base nos fluxos de caixa esperados e nas taxas de desconto no instante da análise; o VPL obtido é então uma medida do valor e da aceitabilidade do projeto naquele instante. Porém, os fluxos de caixa esperados e as taxas mudam ao longo do tempo, bem como o VPL do projeto. Assim, um projeto que apresenta hoje um VPL negativo pode ter um VPL positivo no futuro.

A opção de adiar o investimento é uma opção americana encontrada na maioria dos projetos nos quais é possível postergar (ou deferir) o início do projeto. Esta opção está ligada ao conceito de *timing* do investimento. Considera-se que com o passar do tempo, é possível adicionar mais informações a respeito de um dado empreendimento, de forma que seja possível agregar valor a ele. Conforme o tempo passa, novas informações vão sendo incorporadas de forma que é possível se tomar a decisão de investimento com maior margem de segurança. Esta opção está diretamente associada à opção de espera, pois o detentor do projeto, ao adiar a sua execução, irá na realidade aguardar o melhor momento para executá-la, aproveitando-se assim, de uma opção de espera.

No caso do projeto GTL, supondo que a Petrobras tenha o direito exclusivo para operar o projeto durante os próximos anos. Neste caso, a Petrobras esperaria o cenário mais relevante para fazer o investimento, assim, o VPL do projeto deverá ser aumentado de acordo com o quão favorável for o cenário do gatilho.

#### 4.2.2.1.2. Opção de Expansão

Em alguns casos, as empresas realizam um projeto porque este permite à empresa adquirir outros projetos ou entrar em novos mercados no futuro. Em tais casos, pode ser argumentado que os projetos iniciais são opções sobre outros projetos, e a firma deve estar disposta a pagar um preço por elas. Uma empresa pode investir num projeto inicial com VPL negativo devido à possibilidade de investir em projetos futuros que apresentem VPL positivo.

Uma opção de expansão consiste basicamente em uma opção de compra onde o valor das oportunidades de crescimento depende dos possíveis investimentos futuros efetuados pela empresa.

Como exemplo assume-se que o valor presente do projeto GTL seja  $V$ , e que existe no futuro a possibilidade de seu valor ser aumentado em um fator “ $z$ ” ( $z > 1$ ) (atendendo possivelmente a uma maior demanda), mas é necessário um investimento adicional  $K$  para poder contar com esta opção. Assim, na data futura se decidirá ampliar ou não a planta do projeto, aproveitando a oportunidade de investir se o valor presente dos fluxos de caixa esperados exceder o custo de investimento.

#### **4.2.2.1.3. Opção de Redução**

Caso as condições de mercado se tornem desfavoráveis, o gerente do projeto pode optar por reduzir a escala das operações, diminuindo assim os investimentos necessários para operar o projeto. A flexibilidade de redução, assim como a opção de expansão, pode ser valiosa no caso de entrada de novas firmas (novos produtos), ou seja, em mercados com grande incerteza.

Essa flexibilidade de reduzir perdas é semelhante a uma opção financeira de venda (*put*). Esta opção também pode ser importante na escolha entre diferentes tecnologias ou fábricas com despesas de construção e manutenção diferenciadas, onde pode ser preferível construir uma fábrica com custos mais baixos de construção e custos mais altos de manutenção, com o objetivo de adquirir a flexibilidade de reduzir as operações (e a consequente redução nos custos de manutenção) no caso de cenários desfavoráveis de mercado.

#### **4.2.2.1.4. Opção de Paralisação Temporária das Operações**

No mundo real das operações empresariais, sabe-se que uma fábrica pode não operar continuamente em todos os períodos. De fato, se o preço dos insumos são tais que os fluxos de caixa não são suficientes para cobrir os custos variáveis de operações, pode ser melhor suspender temporariamente as operações, principalmente se os custos de parar e voltar a produzir são pequenos. Se os preços dos insumos baixarem suficientemente, as operações podem ser retomadas. Dessa forma, a operação em cada instante de tempo pode ser vista como uma opção de compra (*call*) sobre os fluxos de caixa do instante de tempo considerado.

A suspensão temporária, tem um custo irreparável e, além disso, uma planta cujas operações foram suspensas temporariamente exige um custo de manutenção

para manter o capital investido nos ativos. A operação então pode ser reativada no futuro incorrendo-se em um custo adicional. Se o preço cair muito, uma operação que já estava suspensa pode ser abandonada de vez a um determinado custo.

Obviamente a suspensão temporária (*stand by*) só faz sentido se o custo de manutenção for menor que o custo de operação, e se o custo de reativação for menor que o custo de investimento em uma planta nova.

#### **4.2.2.1.5. Opção de Abandono**

Outra opção real existente em alguns projetos é a opção de abandono, que é exercida quando os fluxos de caixa gerados pelo projeto não atendem às expectativas iniciais. Nesse caso, ao abandonar o projeto, a empresa recupera parte do investimento inicial realizado. Não existe obrigação de seguir um plano de negócio se ele não for mais lucrativo, podendo ser abandonado. Em algum cenário a planta GTL pode se tornar antieconômica, sendo interessante avaliar a alternativa de vender os ativos ou manter o projeto vivo.

#### **4.2.2.1.6. Opção de Troca de uso**

Uma fábrica qualquer pode ser projetada para operar usando diferentes insumos. Esta flexibilidade operacional agrega valor ao projeto, pois permite ao gerente usar o insumo mais barato em determinado instante da vida do projeto.

Para poder contar com esta opção, a empresa deve estar disposta a pagar um determinado prêmio positivo (Custo adicional), para ter direito a esta flexibilidade, que pode representar uma vantagem competitiva significativa.

Na primeira fase do projeto GTL, precisou-se o valor da opção de *switch* tanto na entrada quanto na saída da planta GTL, verificando-se que esta é uma opção valiosa para a Petrobras.

#### **4.2.2.1.7. Opção de Investimento em informação**

De maneira geral, os projetos são realizados num ambiente onde, em maior ou menor escala, a incerteza está presente. No setor de petróleo, por exemplo, as duas principais fontes de incerteza são: incerteza com relação ao mercado, representada principalmente pelo preço do petróleo; e a incerteza técnica, que se

refere basicamente ao volume e a qualidade da reserva. Neste cenário, os investimentos seqüenciais em informação podem revelar a incerteza técnica. Ao investir em informação, a variância desta incerteza técnica é reduzida. Por outro lado, este tipo de investimento nada revela a respeito da incerteza econômica, uma vez que, apesar do conhecimento em novas informações ser importante, a volatilidade do processo estocástico envolvido não é reduzida. O CAPM (*Capital Asset Pricing Model*) afirma que a incerteza técnica não possui correlação alguma com os movimentos macroeconômicos, não demandando assim prêmio de risco por parte dos investidores bem diversificados. Mas, quando se trata de incerteza técnica o prêmio de risco não é tudo o que importa. Isto porque, a flexibilidade gerencial permite fazer bem mais do que simplesmente diversificar a incerteza técnica (como estão limitados os investidores), tornando possível uma alavancagem do valor do projeto por meio de um gerenciamento ótimo desse tipo de incerteza. Segundo Dias (2002), o CAPM permanece válido, mas não suficiente para representar o mundo real de decisões de investimento onde há incerteza técnica relevante.

## 5 Processos Estocásticos

Ao avaliar um projeto utilizando a teoria de opções reais, um dos aspectos mais importantes é a análise das incertezas do projeto. Em opções reais, na maioria dos estudos desenvolvidos, assume-se que estes fatores de incerteza seguem um processo estocástico, ou seja, sua evolução no tempo tem parcela de aleatoriedade.

Um processo estocástico  $X = \{ X(t), t \in T \}$  é uma coleção de variáveis aleatórias. Ou seja, para cada  $t$  no conjunto de índices  $T$ ,  $X(t)$  é uma variável aleatória. Geralmente  $t$  é interpretado como tempo e  $X(t)$  é chamado de estado do processo no tempo  $t$ . Uma realização de  $X(t)$  num intervalo de tempo é chamada de amostra de caminho.

Ainda com relação a variável tempo, pode-se classificar um processo estocástico como contínuo ou discreto. Um processo estocástico em tempo discreto é aquele em que o valor da variável só varia em um determinado instante de tempo. Esta variável é classificada como variável discreta. Já um processo em tempo contínuo, a variável assume valores a qualquer instante de tempo, por isso é chamada de variável contínua.

Com relação às suas propriedades estatísticas (média e variância, principalmente), um processo estocástico pode ser classificado como estacionário, onde as propriedades estatísticas da variável, média e variância são constantes, e pode ser classificado como processo não estacionário, pois o valor esperado da variável aleatória pode crescer sem limite e sua variância,  $T$  anos à frente, aumenta com  $T$ .

Em suma, um processo estocástico é uma variável que se comporta, durante o tempo, de maneira onde pelo menos parte é considerada randômica. De maneira mais formal, é definido pela probabilidade da evolução  $x_t$  da variável  $x$  durante o tempo  $t$ . Para instantes  $t_1$ ,  $t_2$  e  $t_3$  nos é fornecida, ou calculada a probabilidade dos valores correspondentes  $x_1$ ,  $x_2$  e  $x_3$ , estarem numa faixa específica de valores, por exemplo:

$$\text{prob}(a_1 < x_1 < b_1; a_2 < x_2 < b_2; a_3 < x_3 < b_3; \dots)$$

Ou seja, quando o tempo  $t_1$  chegar e observarmos o valor correspondente de  $x_1$ , poderemos condicionar a probabilidade dos eventos futuros baseado nesta informação.

Nos tópicos a seguir serão apresentados os principais processos estocásticos considerados em estudos de opções reais e suas características.

## 5.1.Principais Processos Estocásticos

### 5.1.1.Processo de Wiener

Robert Wiener (1923) desenvolveu a teoria matemática proposta por Albert Einstein chamada de *Brownian Motion*. Esta teoria fundamentou o movimento Browniano, que é um processo estocástico em tempo contínuo e possui três propriedades importantes.

- É um processo de Markov, que é um caso particular de processo estocástico, onde somente o valor atual de uma variável é relevante para se prever o valor futuro, ou seja, dados históricos desta variável não influenciarão suas projeções (não tem memória);

- Possui incrementos independentes, ou seja, a variação num determinado intervalo de tempo é independente das variações em outros intervalos de tempo;

- Mudanças sobre qualquer intervalo de tempo são normalmente distribuídas, com uma variância que cresce linearmente com o intervalo de tempo, ou seja, é um processo estocástico não estacionário.

Se  $Z(t)$  é um processo de Wiener, então qualquer incremento  $\Delta Z$  num intervalo de tempo  $\Delta t$  satisfaz as seguintes condições:

- $\Delta z = \varepsilon_t \sqrt{\Delta t}$ , onde  $\varepsilon_t \sim$  Normalmente (0,1)

- $E[\varepsilon_t \varepsilon_s] = 0$  para  $t \neq s$

### 5.1.2.Processo de Markov

Este é um tipo de processo estocástico onde somente o valor corrente de uma variável é relevante para prever o futuro, a propriedade de Markov nos diz que a distribuição de probabilidades dos preços em qualquer tempo no futuro

depende única e exclusivamente do preço atual. Sua vantagem é que ele simplifica a análise de processos estocásticos.

Uma definição mais formal: considere um processo em tempo discreto  $\{x_1, x_2, \dots, x_t\}$  com distribuição de probabilidade conjunta  $F(x_1, x_2, \dots, x_t)$ . Este processo é considerado de Markov se as suas probabilidades condicionais satisfazem as seguintes propriedades:

$$P(X_{t+S} \leq x_{t+S} / x_t, \dots, x_1) = P(X_{t+S} \leq x_{t+S} / x_t)$$

Onde,  $P(\cdot / I_t)$ , representa a probabilidade condicional ao conjunto de informações  $I_t$ .

Esse processo é considerado importante para o mercado financeiro, pois neste ambiente considera-se que todas as informações passadas sobre o preço de um determinado ativo estão contidas no valor atual do mesmo. Sendo assim qualquer previsão do futuro será baseada somente no valor corrente do ativo, desconsiderando os valores anteriores.

### 5.1.3. Movimento Browniano com Drift ou Movimento de Wiener generalizado (Movimento Aritmético Browniano)

O processo de Wiener Generalizado, também conhecido como Movimento Browniano é caracterizado pela composição de dois termos principais, o primeiro termo é chamado de tendência  $\alpha$  (*drift*) e o outro é chamado de termo aleatório  $\sigma$  do movimento.

$$dx = \alpha dt + \sigma dz \quad (8)$$

Onde:  $dz$  é o incremento de Wiener, definido acima;  $\alpha$  é a tendência do processo, que representa a certeza, pois surge do produto de dois valores conhecidos (que nesse caso é constante); e  $\sigma$  é a volatilidade do parâmetro, a qual representa a incerteza do processo, pois resulta da multiplicação de um valor conhecido por um valor aleatório (que também é constante).

A mudança em  $X$ , denotada por  $dx$ , no intervalo de tempo  $\Delta t$ , é normalmente distribuída e tem  $E(\Delta x) = \alpha \cdot \Delta t$ , e a variância é  $V(\Delta x) = \sigma^2 \Delta t$ . Logo,  $\Delta x \sim N(\alpha \Delta t, \sigma \sqrt{\Delta t})$ .

### 5.1.4. Movimento Browniano Generalizado - o Processo de Itô

O movimento Browniano generalizado ou processo de Itô é uma generalização do movimento Browniano com *drift* na qual os parâmetros drift e variância podem variar no tempo, este movimento é representado pela seguinte equação:

$$dx = \alpha(x, t).dt + \sigma(x, t).dz \quad (9)$$

Onde:  $dz$  é um incremento de Wiener e  $\alpha(x, t)$  e  $\sigma(x, t)$ , agora funções conhecidas e determinísticas do estado atual  $x$  e do tempo  $t$ , são determinados taxa de crescimento esperado instantâneo e variância instantânea do processo de Itô.

O processo de Itô possui média dada por  $\alpha(x, t) \cdot dt$  e variância igual a  $\sigma^2(x, t) \cdot dt$ , isto é,  $dx \sim N(\alpha(x, t)dt, \sigma(x, t)dt)$ .

### 5.1.5. Movimento Geométrico Browniano (MGB)

É um caso particular de Processo de Ito, geralmente é o processo utilizado para modelar preço de ações, taxas de juros, preços de produtos e outras variáveis financeiras e econômicas.

Uma importante generalização da Equação (9) é vista a seguir:

$$dx = \alpha x dt + \sigma x dz \quad (10)$$

Onde  $\alpha$  e  $\sigma$  são constantes.

As mudanças do valor de  $x$ , em termos percentuais  $\frac{\Delta x}{x}$  seguem um MAB

e sendo assim tem uma distribuição Normal. No entanto, mudanças no logaritmo natural de  $x$ , em termos absolutos de  $x$ , possuem distribuição lognormal. Esta informação é fundamental, pois permite que os preços de um ativo sejam sempre positivos (o MGB é o movimento mais utilizado na modelagem de preços de ativos, uma vez que preços não podem assumir valores negativos).

Apesar de em muitos casos o MGB não se apresentar como melhor opção, este é o mais utilizado dos processos estocásticos, tanto na teoria de finanças quanto em aplicações econômicas práticas, devido a sua simplicidade de utilização e principalmente pela sua fácil compreensão.



O valor esperado e a variância seguem as seguintes expressões, respectivamente:

$$E(x_t) = x_0 \cdot e^{\alpha \cdot t}$$

$$v(x_t) = x_0^2 \cdot e^{2\alpha \cdot t} (e^{\sigma^2 \cdot t} - 1)$$

Uma observação importante é que a variância cresce (sem limites) com o horizonte temporal, ou seja, se  $T \rightarrow \infty \Rightarrow \text{Var}(x_T) \rightarrow \infty$ . E a tendência é exponencial de crescimento ou de queda. Isso pode ser observado na Figura 6.1.

- $\alpha$  : é a tendência do processo (que nesse caso é constante); e
- $\sigma$  : é a volatilidade do parâmetro (que também é constante).

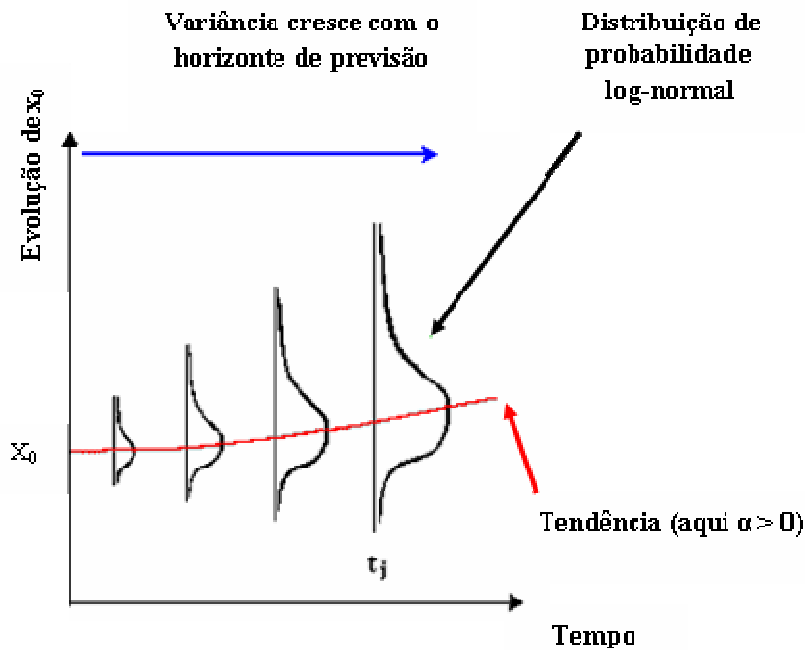


Figura 1 - Gráfico da variância no Movimento Geométrico Browniano.

Nesse processo a variável estocástica não pode assumir valores menores que zero, por exemplo, na hipótese de que o valor de  $x$  caia até zero, o valor de  $dx$  fica igual a zero e acaba o processo estocástico. Por isso, o MGB é o mais utilizado para modelar preços.

### 5.1.6. Processo de Reversão à Média ou Ornstein-Uhlenbeck

Movimentos brownianos tendem a divergir de seus pontos iniciais. Essa característica pode ser verdadeira para algumas realidades econômicas, como preços de ativos de especulação, mas não é uma realidade para os preços de *commodities* como o petróleo e alguns de seus derivados, por exemplo, cujo preço estaria relacionado a seu custo marginal de produção de longo prazo. Assim, enquanto no curto prazo poder-se-ia modelar o preço do petróleo como MGB, tal modelagem não seria apropriada em análise de longo prazo. Nesse caso, um modelo mais apropriado para o preço do petróleo seria um processo de reversão à média, cuja forma mais simples é dada pela equação:

$$dx = \eta (\bar{x} - x) dt + \sigma dz \quad (11)$$

Onde  $\eta$  é a velocidade de reversão, esse parâmetro indica a velocidade com que o processo tende a voltar para o valor médio,  $\bar{x}$  é o nível para o qual  $x$  tende a reverter,  $\sigma$  é o parâmetro de volatilidade e  $dz$  é um incremento de Wiener.

Um processo de reversão à média é um processo de Markov, muito embora seus incrementos não sejam independentes. Isso pode ser visto através da Equação 11, onde vê-se que a variação esperada de  $x$  depende da diferença entre  $x$  e  $\bar{x}$ . Além disso, quanto mais distante estiver  $x$  de seu valor normal  $\bar{x}$ , maior será a probabilidade de a variável retornar para  $x$ .

Uma boa ilustração para este movimento é o caso da força restauradora de uma mola. Quanto mais distante do ponto de equilíbrio a mola se encontra, maior é a força para restaurar o equilíbrio da mola.

Como foi dito anteriormente, este processo é um processo de Markov, porém não possui incrementos de Wiener (dado que a variância de  $x$  depende da diferença entre  $\bar{x}$  e  $x$ ). O valor esperado de  $x$  é:

$$E(x_t) = \bar{x} - (x_0 - \bar{x})e^{-\eta(t-t_0)} \quad (12)$$

A variância é dada pela seguinte equação:

$$\text{Var}(x_t) = \frac{\sigma^2}{2\eta} \left( 1 - e^{-2\eta(t_0 - t)} \right) \quad (13)$$

O próximo passo é verificar o que ocorre com a variância e o valor esperado de  $x$  quando  $t \rightarrow \infty$ :

$$\lim E(x_t) = \lim \left[ \bar{x} - (x_0 - \bar{x}) \frac{1}{e^{\eta t}} \right] \quad (14)$$

$$\lim E(x_t) = \bar{x} - (x_0 - \bar{x}) \cdot \lim \left[ \frac{1}{e^{\eta t}} \right] \quad (15)$$

Quando  $t \rightarrow \infty$ ,  $e^{\eta t} \rightarrow \infty$ , então  $(x_0 - \bar{x}) \cdot \frac{1}{e^{\eta t}} \rightarrow 0$ , logo a expressão final fica conforme a Equação (16):

$$\lim E(x_t) = \bar{x} \quad (16)$$

## 6 Precificação da Opção de Parar Temporariamente e Resultados

Neste trabalho será realizada uma análise de viabilidade econômica e também será precificada a opção de parada temporária de uma planta GTL. Na tabela abaixo estão contidos os cenários analisados de plantas GTL.

Planta	Matéria-Prima	Perfil de Produção $\alpha$
Cenário 1	Gás Natural	0,99
	Óleo pesado	
Cenário 2	Gás Natural	0,98
	Óleo pesado	
Cenário 3	Gás Natural	0,96
	Óleo pesado	
Cenário 4	Gás Natural	0,95
	Óleo pesado	

Tabela 1 - Tipos de plantas industriais analisadas. Dados: Petrobrás.

Cada cenário analisado é composto por diferentes percentuais de *Output* produzidos pela planta, ou seja, cada cenário produz uma determinada quantidade de nafta, diesel, parafina e lubrificante. Isso porque, neste processo não se consegue produzir só lubrificante, ou só diesel. Sabe-se que os seguintes produtos sempre serão fabricados: Nafta e Diesel. Esta é uma das restrições da planta.

As possíveis combinações são expressas pela equação:

$$W_n = \left[ \frac{(1-\alpha)^2}{2} \right] n \alpha^n \quad (17)$$

Onde:  $W_n$  porcentagem de produção de cada output,  $n$  número de carbonos e

$$\frac{(1-\alpha)^2}{2} = \text{grau de polimerização.}$$

Com base na equação acima, montou-se os perfis de produção ( $\alpha$ ) dados pela curva Anderson-Schulz-Flory - ASF.

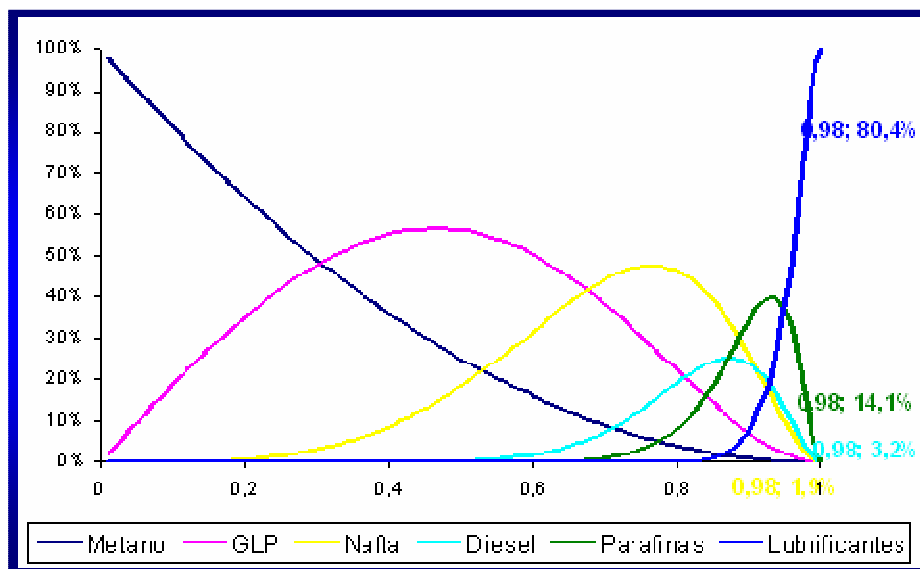


Figura 1 - Possíveis combinações de Outputs.

Para o cálculo das receitas geradas no projeto, foram escolhidas as seguintes combinações de produção:

Tipos de Produtos	Cenário	Cenário	Cenário	Cenário
	I	II	III	IV
Nafta	0,50%	1,90%	6,60%	9,60%
Diesel	0,90%	3,20%	9,40%	12,70%
Parafina	4,70%	14,10%	31,30%	36,40%
Lubrificante	93,70%	80,40%	51,20%	39,00%
<b>Total</b>	<b>99,80%</b>	<b>99,60%</b>	<b>98,50%</b>	<b>97,70%</b>
Perfil de Produção $\alpha$	0,99	0,98	0,96	0,95

Tabela 2 – Combinações de produção utilizadas no trabalho.

Nota-se que a produção efetiva nunca resulta em 100%, uma vez que gases como metano e GLP não estão sendo considerados nesta análise e podem ser considerados como perda.

Essas combinações de produção foram escolhidas no meio de tantas outras, pois são as que possuem maior proporção de lubrificante, o *output* com maior preço no mercado.

### 6.1. Investimentos Iniciais (*Capex*)

Nas tabelas abaixo, estão sendo apresentados os valores dos investimentos iniciais (*capex*) por tipo de tecnologia de *input*, divididos pelas seguintes fases do projeto: Reforma/Gaseificação (dependendo do *input*), Fischer – Tropsch e Enriquecimento dos Produtos.

<b>Capex</b>	<b>Tipo de Tecnologia</b>	<b>35.000 bbl/dia (US\$ / bbl)</b>	<b>Invest. Total US\$ 35.000</b>
<b>Gás Natural</b>	Reforma	25.000	875.000.000,00
<b>Óleo Pesado</b>	Gaseificação	28.750	1.006.250.000,00

Tabela 3 – Investimento por barril e por tipo de tecnologia (35.000 bbl/dia).

<b>Capex</b>	<b>Tipo de Tecnologia</b>	<b>72.000 bbl/dia (US\$ / bbl)</b>	<b>Invest. Total US\$ 72.000</b>
<b>Gás Natural</b>	Reforma	20.000	1.440.000.000,00
<b>Óleo Pesado</b>	Gaseificação	23.000	1.656.000.000,00

Tabela 4 – Investimento por barril e por tipo de tecnologia (72.000 bbl/dia).

Após a definição do volume de capital a ser investido é importante saber de que forma ele será alocado. O tempo para aplicação destes recursos é de 3 anos, e os ativos montados serão depreciados linearmente por um período de 20 anos.

Capex	Gás Natural % do Invest.	Óleo Pesado % do Invest.	Gás Natural 35.000 (US\$ mil)	Óleo Pesado 35.000 (US\$ mil)
<b>Reforma/ Gaseificação</b>	60%	65%	525.000	656.250
<b>Fischer - Tropsch</b>	25%	22%	218.750	218.750
<b>Enriquecimento</b>	15%	13%	131.250	131.250
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>875.000</b>	<b>1.006.250</b>

Tabela 5 – Alocação dos recursos por fase do projeto (35.000 bbl/dia). Fonte: Petrobrás.

Capex	Gás Natural % do Invest.	Óleo Pesado % do Invest.	Gás Natural 72.000 (US\$ mil)	Óleo Pesado 72.000 (US\$ mil)
<b>Reforma/ Gaseificação</b>	60%	65%	864.000	1.080.000
<b>Fischer - Tropsch</b>	25%	22%	360.000	360.000
<b>Enriquecimento</b>	15%	13%	216.000	216.000
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>1.440.000</b>	<b>1.656.000</b>

Tabela 6 – Alocação dos recursos por fase do projeto (72.000 bbl/dia).

## 6.2.Custos

Neste trabalho, serão considerados dois tipos de custos:

- Custo com matéria prima para geração de gás de síntese;
- Custo operacional (*OPEX*).

### 6.2.1. Matéria-Prima

Foram considerados dois tipos de insumos que alimentam a planta GTL: gás natural e óleo pesado. A quantidade de matéria-prima utilizada em cada tipo de planta está representada na tabela abaixo.

Tipos de Insumos	Gás Natural 35.000 bbl/dia	Gás Natural 72.000 bbl/dia	Óleo Pesado 35.000 bbl/dia	Óleo Pesado 72.000 bbl/dia
Quantidades em toneladas	7.101,45	14.608,70	9.423,08	19.384,63

Tabela 7 – Quantidade diária de Matéria-Prima por tipo de planta.

Para calcular a quantidade diária de matéria-prima necessária para a geração de gás de síntese de acordo com o tamanho da planta, utilizou-se a seguinte equação:

$$Qtde(ton) = \frac{Capacidade}{\frac{Rend.Liq.}{Rend.Z}} \quad (18)$$

Onde, Capacidade - Capacidade Nominal da Planta, Rend.Liq - Rendimento na produção de produtos líquidos, Rend. Z - Rendimento da matéria-prima.

Lembrando que as capacidades de 35.000 e 72.000 bbl/dia são capacidades nominais, já que a eficiência de cada planta é de 93%.

### 6.2.2. OPEX

Segundo técnicos da Petrobrás, o *OPEX* (custo com manutenção da planta) anual representa 2% do valor do investimento inicial da planta e engloba as despesas com mão-de-obra, reagentes, instalações, energia elétrica, manutenção e outros. Existem ainda os custos de parar de produzir, manter a planta parada e voltar a produzir caso seja viável para a Petrobrás.

Neste trabalho, considerou-se que os custos de parar de produzir e voltar a produzir são nulos, uma vez que diferentemente de um poço de petróleo, uma planta GTL não apresenta custos relevantes para efetuar tais operações.

Porém, para manter a planta parada nos casos em que determinados cenários não sejam viáveis operar a planta GTL, considerou-se que o custo de manter a planta parada é 50% do valor do *OPEX*. Nestes 50%, estão contidos os custos de



manutenção, outros e mão-de-obra, uma vez que a empresa não demitirá seus funcionários treinados por um período ou dois, para recontratá-los com a chegada de cenários favoráveis.

### 6.3.Receitas Operacionais

A receita operacional de uma planta GTL é gerada a partir da realização das vendas dos produtos líquidos (diesel, nafta, parafinas e lubrificantes). As receitas serão obtidas através do produto entre a quantidade de barris de produtos líquidos produzidos diariamente pelo preço unitário dos respectivos barris.

De acordo com a Tabela 9, os cenários de produção são as porcentagens de cada produto utilizadas para calcular as possíveis receitas utilizadas neste trabalho.

### 6.4.Estimação dos parâmetros das séries de preços dos *inputs* e *outputs*

O comportamento das variáveis de tendência (drift) e volatilidade do processo estocástico utilizado neste estudo (MGB) foi obtido a partir das séries históricas dos preços dos *inputs* e *outputs*. O processo estocástico é utilizado para a obtenção de preços futuros para esses *inputs* e *outputs*.

A natureza do processo estocástico de evolução dos preços é o ponto central para derivação dos modelos de apreçamento. A análise do comportamento dos preços dos *inputs* e *outputs* baseou-se nas suas séries históricas para calcular os parâmetros do processo através de regressão.

No movimento geométrico browniano (MGB), seja  $P_t$  o preço no instante  $t$ . Calcula-se os logaritmos  $\ln(P_t)$  e  $\ln(P_{t-1})$  de cada série. Assim, fazendo a regressão:

$$\ln(P_t) - \ln(P_{t-1}) = a + (b - 1) \ln(P_{t-1}) + \varepsilon_t \quad (19)$$

Obtendo o valor de  $a$  e  $b$ , calculam-se os parâmetros para o MGB através das Equações (20) e (21) corrigidas por Dias do Dixit & Pindyck (1994).

$$\sigma = \sqrt{k} \text{ DESVIO PADRÃO } Y \quad (20)$$

$$\alpha = K ((\bar{Y}) + (0,5 ((\text{DESVIO PADRÃO } (Y))^2))) \quad (21)$$

Onde:  $Y_t = \ln(P_t) - \ln(P_{t-1}) \rightarrow t = 1, 2, 3...n$  (é o termo dependente da regressão);  $k$  = Número de períodos considerados. Ex: se anual  $t = 12$ , se diário  $t = 260$ ;  $\bar{Y}$  = Média de  $Y$

Aplicando as fórmulas acima, foram encontrados os parâmetros mostrados na tabela abaixo.

<i>Input/Output</i>	Tamanho da amostra	<i>Drift</i> ( $\alpha$ )	Volatilidade ( $\sigma$ )
<b>Gás Natural</b>	193 (dados mensais)	18,38% p.a.	46,10 % p.a.
<b>Óleo Pesado</b>	54 (dados mensais)	14,25 % p.a.	37,82 % p.a.
<b>Nafta</b>	297 (dados mensais)	8,67 % p.a.	35,67 % p.a.
<b>Diesel</b>	249 (dados mensais)	7,69 % p.a.	24,46 % p.a.
<b>Parafina</b>	53 (dados mensais)	23,58 % p.a.	33,33 % p.a.
<b>Lubrificante</b>	54 (dados mensais)	34,53 % p.a.	23,78 % p.a.

Tabela 8 – Informações sobre os parâmetros via regressão encontrados.

A seguir, têm-se os gráficos dos preços históricos dos *Inputs e outputs*. A série dos preços do Gás Natural apresenta dados mensais, na unidade de US\$/ton.

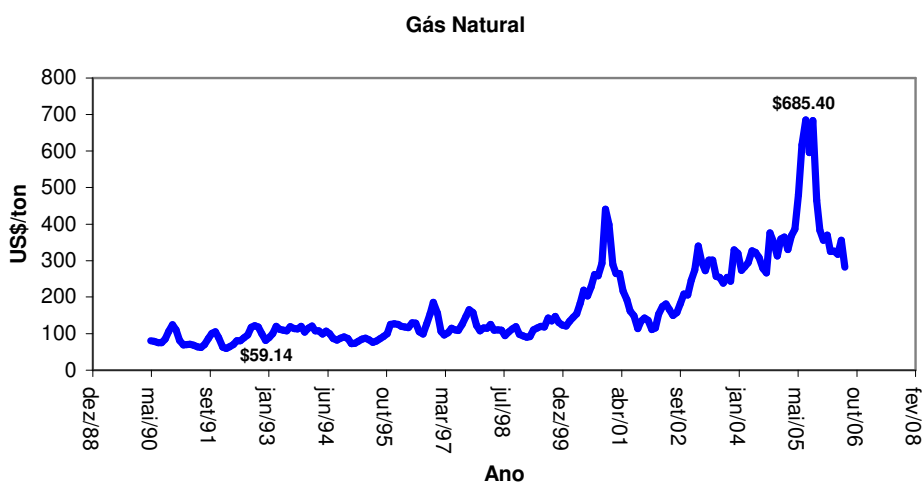


Figura 2 – Gráfico da evolução da série de preços do GN.

Note que o maior preço alcançado pelo GN nesta série aconteceu em agosto de 2005, onde a tonelada deste produto chegou a custar US\$ 685.40 e o menor preço aconteceu em fevereiro de 1992, com a tonelada custando US\$ 59.14.



Figura 3 – Gráfico da evolução da série de preços do Óleo Pesado.

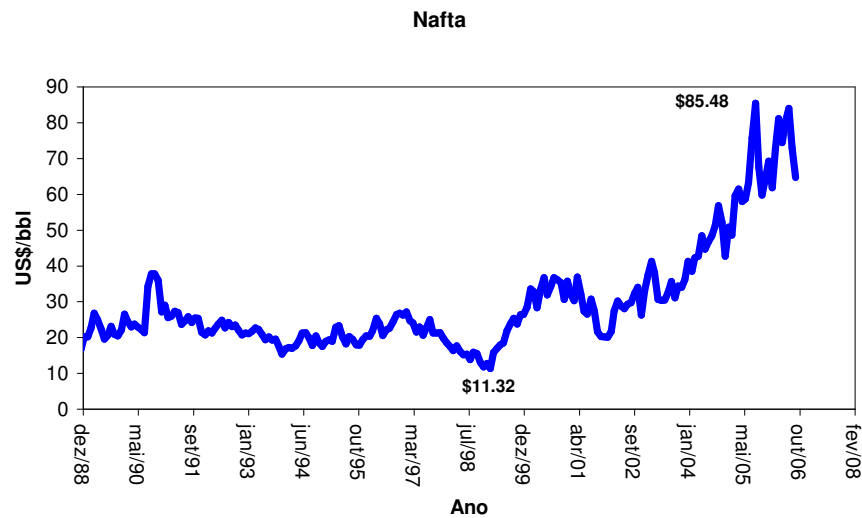


Figura 4 – Gráfico da evolução da série de preços da Nafta.

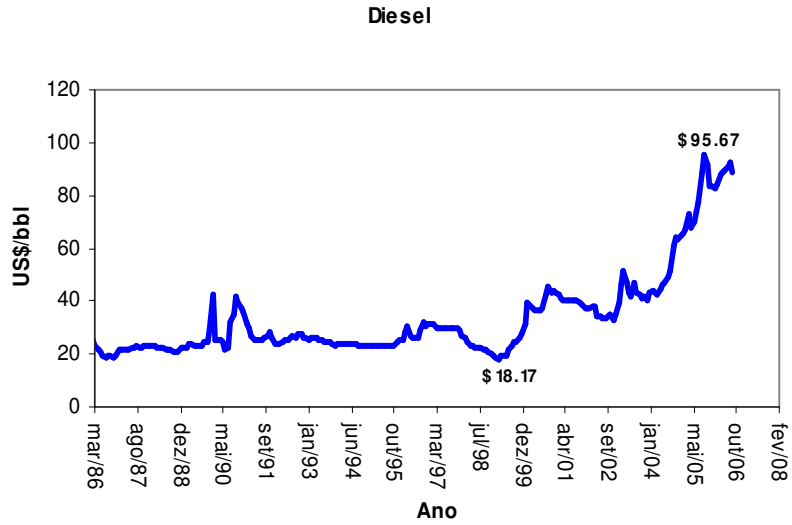


Figura 5 – Gráfico da evolução da série de preços do Diesel.

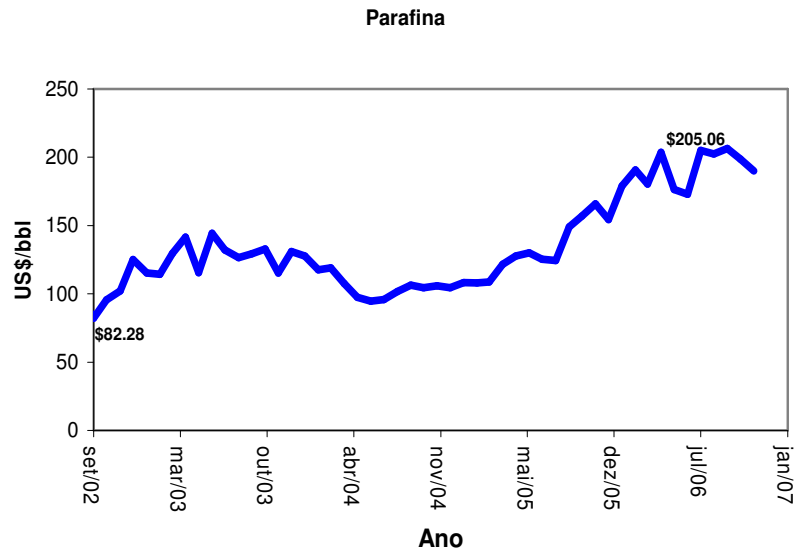


Figura 6 – Gráfico da evolução da série de preços da Parafina.

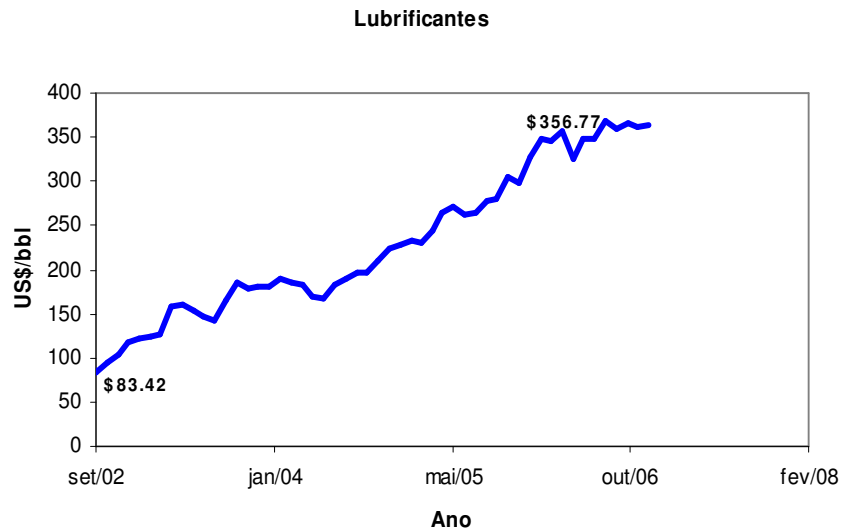


Figura 7 – Gráfico da evolução da série de preços do Lubrificante.

O pior caso é o da série dos lubrificantes, pois o seu tamanho é muito reduzido e isso pode fornecer parâmetros não muito confiáveis.

### 6.5. Simulação do Movimento Geométrico Browniano

Considerou-se que os preços dos *inputs* e *outputs* seguem o MGB e a equação que descreve esse processo é a seguinte:

$$dP = \alpha P dt + \sigma P dz \quad (22)$$

O retorno de um investimento é composto por duas parcelas: uma representa o ganho de capital e a outra os dividendos distribuídos:

$$\mu = \alpha + \delta \quad (23)$$

Onde,  $\mu$  = taxa de retorno total,  $\alpha$  = taxa de ganho de capital e  $\delta$  = taxa de dividendo.

Outra forma de representar o retorno total de um investimento é dada pelo *Capital Asset Pricing Model* (CAPM). Segundo este modelo o retorno total possui dois componentes: um deles é a taxa livre de risco e o outro é o prêmio de risco (parcela a mais de rendimento que o investidor ganha por estar investindo em um ativo com risco).

$$\mu = r + \beta(r_m - r) \quad (24)$$

Onde,  $r$  = taxa livre de risco,  $\beta(r_m - r) = \Pi$  = prêmio de risco.

Igualando-se as Equações (23) e (24), a seguinte relação é obtida:

$$\alpha - \pi = r - \delta \quad (25)$$

Onde:  $(\alpha - \pi)$  e  $(r - \delta)$  são chamados de tendência neutra ao risco.

Usando a equação do retorno total de investimento representada pela equação (23), pode-se escrever a equação estocástica (22) como:

$$dP = (\mu - \delta) P dt + \sigma P dz \quad (26)$$

Para a versão neutra ao risco da Equação (26), deve-se substituir a taxa de desconto ajustada ao risco  $\mu$  por uma livre de risco  $r$  para que a equação estocástica neutra ao risco seja obtida:

$$dP = (r - \delta) P dt + \sigma P dz \quad (27)$$

Usando transformação logarítmica e aplicando o Lema de Itô, consegue-se chegar às equações para a simulação dos preços dos *inputs* e *outputs* em ambos os formatos: real e neutro ao risco.

A real simulação de um MGB usa o *drift* real, e o preço  $P_t$  no instante futuro será dado por:

$$P_t = P_0 \text{ EXP } \left\{ (\alpha - 0,5\sigma^2) \Delta t + \sigma N(0,1)\sqrt{\Delta t} \right\} \quad (28)$$

A simulação do preço real usando a equação acima será feita por amostragem de um modelo de distribuição normal  $N(0,1)$ . A partir daí obtêm-se os valores correspondentes de  $P_t$ .

Para que a simulação neutra ao risco seja feita (que é a simulação que será usada para calcular o valor das opções reais) basta substituir o *drift* real por uma tendência neutra ao risco.

$$P_t = P_0 \text{ EXP } \left\{ ((r-\delta) - 0,5\sigma^2) \Delta t + \sigma N(0,1)\sqrt{\Delta t} \right\} \quad (29)$$

Com base nos parâmetros calculados no Item 6.5 e utilizando as equações (27) e (28) pode-se calcular amostras de caminho para as séries e assim calcular os preços futuros dos *inputs* e *outputs* da planta GTL.

Fazendo simulação de Monte Carlo (SMC) neutra ao risco dos preços dos *inputs* e *outputs* e com base no MGB neutro ao risco, utilizou-se a plataforma estatística @Risk com 100.000 iterações, as seguintes figuras representam amostras de 7 caminhos de preços futuros diferentes para cada uma das séries de preços com base nos seus parâmetros.

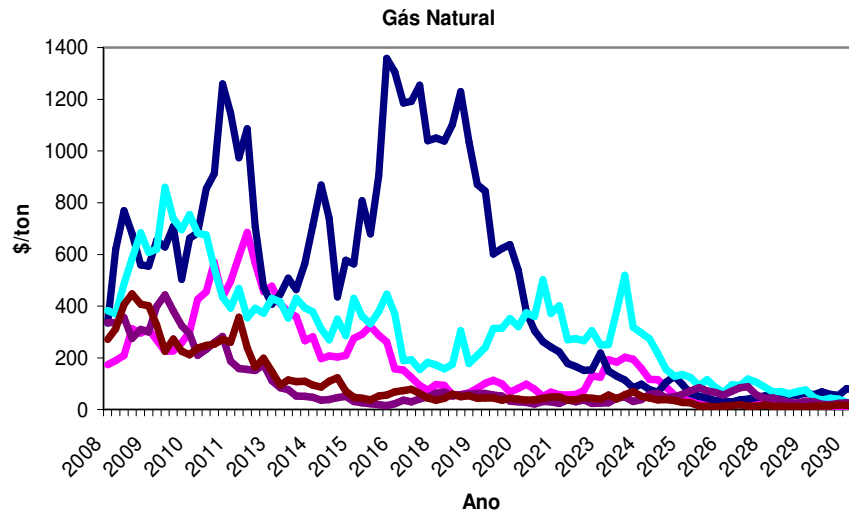


Figura 8 – Caminhos do MGB para o Gás Natural.

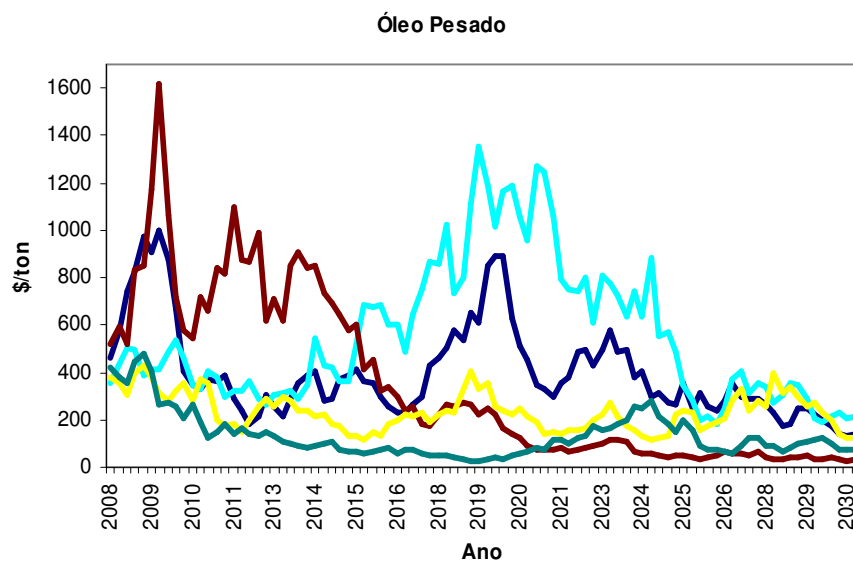


Figura 9 – Caminhos do MGB para o Óleo Pesado.

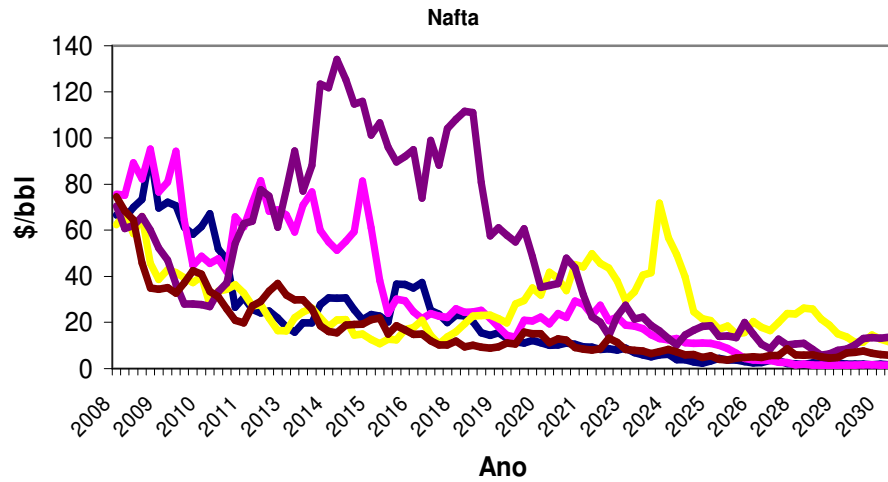


Figura 10 – Caminhos do MGB para a Nafta.

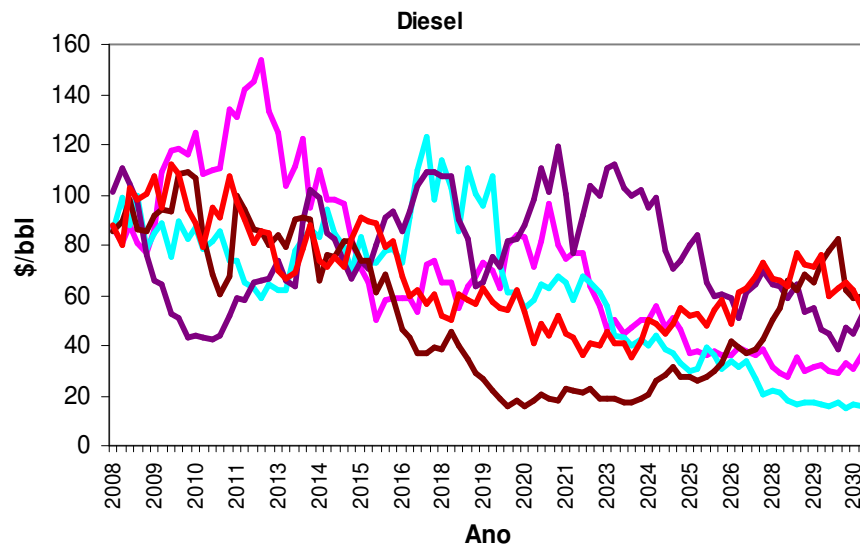


Figura 11 – Caminhos do MGB para o Diesel.



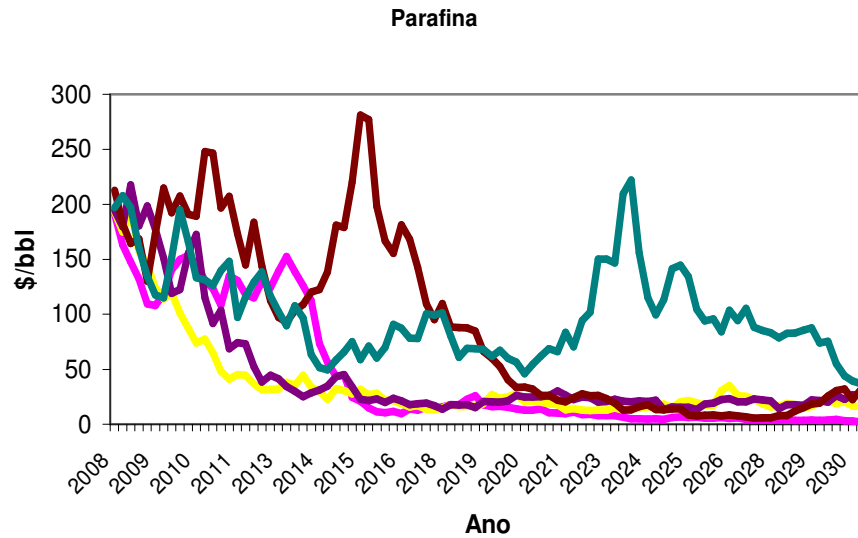


Figura 12 – Caminhos do MGB para a Parafina.

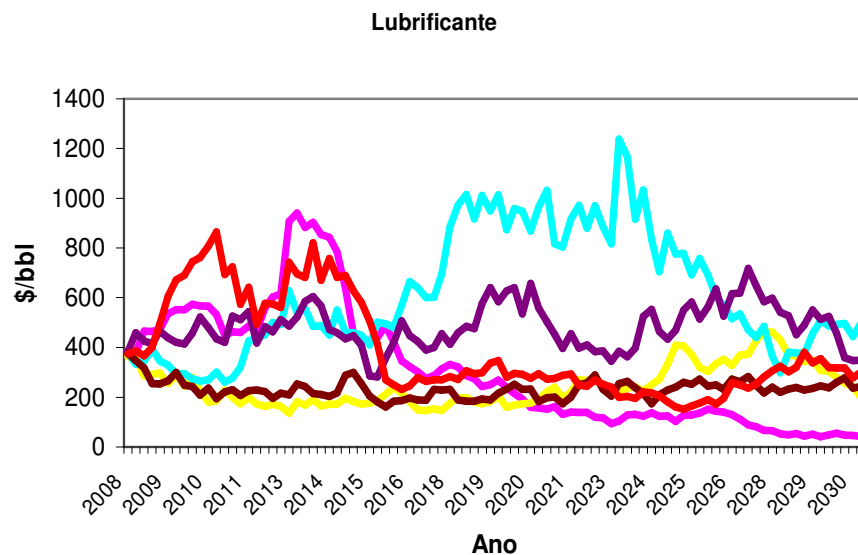


Figura 13 – Caminhos do MGB para o Lubrificante.

## 6.6. Correlação

Sabe-se que o efeito da correlação no valor da opção é geralmente negativo, ou seja, quanto maior a correlação menor o valor da opção. Para precificar o valor da opção de parar temporariamente, optou-se por capturar as correlações entre os preços de cada *Input* e os preços de seus 4 *outputs* gerados, ou seja, se a matéria-prima é o gás natural, então faz-se correlação entre o gás e a Nafta, diesel, parafina e lubrificante simultaneamente. E assim também, para o caso da matéria-

prima ser o óleo pesado. No presente trabalho, as variáveis aleatórias dos preços do input e dos outputs são simuladas simultaneamente. Essas variáveis apresentam correlações entre si.

A maneira utilizada para garantir que a geração de seqüências aleatórias respeite uma matriz de correlação foi através da decomposição de Cholesky.

O princípio da decomposição de Cholesky é uma operação matricial que, aplicada ao vetor de números aleatórios sorteados produz outro vetor de números aleatórios que têm a característica de obedecerem a uma dada matriz de correlação entre eles.

Se as variáveis aleatórias  $X$  e  $Y$  tem correlação  $\rho$ , então basta amostrar duas normais independentes  $\varepsilon_x$  e  $\varepsilon_w$ , usar  $\varepsilon_x$  para a V.A.  $X$  e usar a fórmula de Cholesky para a variável aleatória  $Y$ :

$$\varepsilon_y = \rho \varepsilon_x + \varepsilon_w \sqrt{1 - \rho^2} \quad (30)$$

Desta forma, os resultados que serão vistos nos itens abaixo, fazem uso da decomposição de Cholesky para analisar o efeito da correlação no valor do projeto.

## 6.7. Resultados

Nos próximos itens, serão apresentados os resultados das simulações realizadas baseadas nas premissas apresentadas acima (custos, % dos *outputs* de cada cenário para formar as receitas), além de outras informações.

Todos os cálculos foram executados através de uma planilha eletrônica confeccionada pelo autor. Este trabalho foi diretamente auxiliado pela plataforma de simulação estatística @Risk.

Assim, elaborou-se um fluxo de caixa da planta GTL, considerando a Equação (31) da função lucro para cada trimestre.

$$\{ \{ \text{Receita} - (\text{Custo Fixo} + \text{Custo Variável}) \} * (1 - \text{alíquota de imposto}) \} \quad (31)$$

Para calcular o valor da opção, basicamente a cada período fez-se: Lucro da planta em  $t = \text{Opção no trimestre} = \text{Máximo} [\textit{payoff}$  de operar com *input*  $X$ ; *payoff* de não operar].

O *payoff* de não operar foi considerado neste trabalho como 50% do custo fixo *OPEXO* durante o trimestre  $t$ .

O efeito líquido da opção de parada temporária é o valor da opção acima menos o valor da opção sem o *payoff* de não operar.

### 6.7.1. Cálculo do VPL

Para calcular o Valor Presente Líquido (VPL) da Planta GTL, os seguintes parâmetros serão utilizados:

- Taxa de desconto ajustada ao risco de 10% a.a.;
- Taxa de desconto livre de risco de 5% a.a.;
- Taxa de dividendo de 5% a.a.;
- Período trimestral;
- Vida útil do projeto de 20 anos;
- Investimento feito nos 3 primeiros anos do projeto;
- Depreciação linear feita ao longo dos 20 anos da planta;
- OPEX de 2% do *CAPEX* para o GN e 3% para o OP;
- Capacidades da planta (35.000 e 72.000 bbl/dia);
- Eficiência de 93%.

Lembrando que o *CAPEX* de uma planta que utiliza Gás Natural é diferente do *CAPEX* de uma planta que utiliza Óleo Pesado, conseqüentemente o *OPEX* também será diferente.

Através de simulação de Monte Carlo foram obtidos 10.000 VPL's para cada cenário possível analisado neste trabalho. Com o auxílio da teoria de opções reais, adicionou-se flexibilidade a planta (opção de parar temporariamente), de forma a maximizar o *payoff* trimestral do projeto.

Os valores médios destes VPL's considerando a correlação entre os *inputs* e os *outputs*, e principalmente, considerando as flexibilidades em cada cenário, podem ser vistos nas tabelas abaixo.

### 6.7.1.1. Apresentação dos resultados (35.000 bbl)

Cada tabela será chamada de exemplo ( I, II, III, IV...) e contemplará os dados de um dos cenários de entrada e saída do projeto. Os cenários possíveis são:

Tipos de Produtos	Cenário	Cenário	Cenário	Cenário
	I	II	III	IV
Nafta	0,50%	1,90%	6,60%	9,60%
Diesel	0,90%	3,20%	9,40%	12,70%
Parafina	4,70%	14,10%	31,30%	36,40%
Lubrificante	93,70%	80,40%	51,20%	39,00%
Perfil $\alpha$	0,99	0,98	0,96	0,95

Tabela 9 – Cenária de produção utilizados no trabalho.

#### Exemplo I

Neste exemplo, serão apresentados os VPL`s com e sem a opção de parada temporária das plantas do cenário I, que são alimentadas com gás natural ou óleo pesado e sua produção máxima é de 35.000 bbl.

Plantas	Mínimo	Médio	Máximo
Gás sem opção	(580.198.800)	14.266.650	187.435.200
Gás com opção	(401.816)	15.211.210	187.435.200
OP sem opção	(447.341.400)	10.155.340	113.710.300
OP com opção	(462.088)	10.623.320	113.710.300

Tabela 10 – Valor Presente Líquido (US\$ mil) do Cenário I (35.000).

Pelo critério do fluxo de caixa descontado, pode-se avaliar que ambas as plantas são viáveis do ponto de vista econômico, uma vez que seus VPL`s >0. Mas, nota-se que ao adicionar-se flexibilidade de parada temporária, o valor presente líquido da planta GTL fica ainda maior.

Para o caso da planta alimentada com gás natural, o valor da opção neste cenário I será de US\$ 944.554.900. Já no caso da planta alimentada com óleo pesado, o valor da flexibilidade será igual a US\$ 467.984.200.

Lembrando que a influência da correlação entre cada *input* e os *outputs* foi considerada.

### Exemplo II

Da mesma forma que o exemplo I, no exemplo II serão calculados os VPL's das plantas do cenário II, que utilizam óleo pesado e gás natural, com produção máxima de 35.000 bbl.

Plantas	Mínimo	Médio	Máximo
Gás sem opção	(583.262.900)	12.679.260	195.348.500
Gás com opção	(401.816)	13.707.470	195.348.500
OP sem opção	(468.027.410)	856.033	121.616.400
OP com opção	(462.088)	1.062.332	121.616.400

Tabela 11 – Valor Presente Líquido (US\$ mil) do Cenário II (35.000).

### Exemplo III

Plantas	Mínimo	Médio	Máximo
Gás sem opção	(589.214.900)	8.930.770	201.883.600
Gás com opção	(401.816)	10.204.740	201.883.600
OP sem opção	(511.785.100)	4.798.420	129.492.700
OP com opção	(462.088)	5.893.130	129.492.700

Tabela 12 – Valor Presente Líquido (US\$ mil) do Cenário III (35.000).

### Exemplo IV

Plantas	Mínimo	Médio	Máximo
Gás sem opção	(591.208.910)	7.207.170	198.244.200
Gás com opção	(401.816)	8.629.100	198.244.200
OP sem opção	(528.960.100)	3.071.260	127.054.600
OP com opção	(462.088)	4.525.160	127.054.600

Tabela 13 – Valor Presente Líquido (US\$ mil) do Cenário IV (35.000).

## 6.7.2. Apresentação dos resultados (72.000 bbl)

Igualmente aos exemplos anteriores, as próximas tabelas apresentarão os VPL's com e sem a opção de parada temporária das plantas, que são alimentadas com gás natural ou óleo pesado e sua produção máxima será de 72.000 bbl.

### Exemplo V

Plantas	Mínimo	Médio	Máximo
Gás sem opção	(1.193.230.000)	29.669.960	385.902.400
Gás com opção	(661.274)	31.606.960	385.902.400
OP sem opção	(919.875.600)	21.260.610	234.288.000
OP com opção	(760.465)	22.220.060	234.288.000

Tabela 14 – Valor Presente Líquido (US\$ mil) do Cenário I ( 72.000).

### Exemplo VI

Plantas	Mínimo	Médio	Máximo
Gás sem opção	(1.199.534.000)	26.404.470	402.181.210
Gás com opção	(661.274)	28.512.310	402.181.210
OP sem opção	(962.429.500)	17.979.450	250.551.900
OP com opção	(760.465)	19.207.120	250.551.900

Tabela 15 – Valor Presente Líquido (US\$ mil) do Cenário II ( 72.000).

### Exemplo VII

Plantas	Mínimo	Médio	Máximo
Gás sem opção	(1.211.778.000)	18.693.270	415.624.900
Gás com opção	(661.274)	21.302.200	415.624.900
OP sem opção	(1.052.446.000)	10.240.680	266.754.600
OP com opção	(760.465)	12.477.950	266.754.600

Tabela 16 – Valor Presente Líquido (US\$ mil) do Cenário III ( 72.000).

### Exemplo VIII

Plantas	Mínimo	Médio	Máximo
Gás sem opção	(1.215.880.000)	15.147.590	408.138.100
Gás com opção	(661.274)	18.042.830	408.138.100
OP sem opção	(1.087.777.000)	6.687.650	266.754.600
OP com opção	(760.465)	9.654.386	266.754.600

Tabela 17 – Valor Presente Líquido (US\$ mil) do Cenário IV ( 72.000).

### 6.7.3.Valor da Opção

As tabelas abaixo, fornecerão a consolidação dos valores das flexibilidades para cada cenário da planta GTL com produção máxima de 35.000 e 72.000 bbl.

Plantas	Cenário I	Cenário II	Cenário III	Cenário IV
Gás Natural	944.554.900	1.028.211.000	1.273.982.000	1.414.742.000
Óleo Pesado	467.984.200	599.224.700	1.094.695.000	1.453.900.000

Tabela 18 – Valor das flexibilidades (US\$) 35.000 bbl.

Plantas	Cenário I	Cenário II	Cenário III	Cenário IV
Gás Natural	1.937.007.000	2.107.840.000	2.608.933.000	2.895.244.000
Óleo Pesado	959.460.400	1.227.664.000	2.237.275.000	2.966.736.000

Tabela 19 – Valor das flexibilidades (US\$) 72.000 bbl.

Analisando os valores encontrados, pode-se observar que todas as plantas apresentam viabilidade econômica para serem implantadas, embora as plantas que utilizam gás natural sejam mais vantajosas. Observa-se também que os VPL`s das plantas que contemplam o benefício da opção de parada temporária são maiores que os VPL`s das plantas sem a flexibilidade. Tal diferença varia de 467.984.200 para a planta do cenário I que utiliza óleo pesado como matéria-prima e tem produção máxima de 35.000 bbl a 2.966.736.000 para o cenário IV com produção máxima de 72.000 bbl e que utiliza a mesma matéria prima.

Nas tabelas 27, 28, 29 e 30 pode-se observar os sumários estatísticos das simulações.

Variáveis	Opção 35.000 bbl	Opção 35.000 bbl	Opção 35.000 bbl	Opção 35.000 bbl
	GN Cenário I	GN Cenário II	GN Cenário III	GN Cenário IV
Mínimo	0	0	0	0
Máximo	5, 805764 E+11	5, 8333323 E+11	5, 889563 E+11	5, 908804 E+11
Média	9, 445549 E+08	1, 02821 E+09	1, 273982 E+09	1, 414742 E+09
Variância	1,131577 E+20	1,170354 E+20	1, 263831 E+20	1, 306577 E+20
% Igual a zero	85%	85%	75%	70%
% diferente de zero	15%	15%	25%	30%

Tabela 20 – Sumário estatístico GN 35.000 bbl.

É importante notar que o percentual do valor da opção nula, varia de 70% a 85% dependendo do cenário observado para esta planta. Isso quer dizer que dependendo do perfil de produção, haverá mais ou menos incertezas, e consequentemente o valor da opção vai aumentando de acordo com o aumento das incertezas.

Variáveis	Opção 35.000 bbl	Opção 35.000 bbl	Opção 35.000 bbl	Opção 35.000 bbl
	OP Cenário I	OP Cenário II	OP Cenário III	OP Cenário IV
Mínimo	0	0	0	0
Máximo	4, 489534 E+11	4, 689017 E+11	5, 117234 E+11	5, 286187 E+11
Média	4, 679842 E+08	5, 992247 E+08	1, 094695 E+09	1, 4539 E+09
Variância	3, 991537 E+19	4,708056 E+19	6, 871486 E+19	8,110991 E+19
% Igual a zero	95%	90%	70%	60%
% diferente de zero	5%	10%	30%	40%

Tabela 21 – Sumário estatístico OP 35.000 bbl.



Variáveis	Opção 72.000 bbl	Opção 72.000 bbl	Opção 72.000 bbl	Opção 72.000 bbl
	GN Cenário I	GN Cenário II	GN Cenário III	GN Cenário IV
Mínimo	0	0	0	0
Máximo	1, 194204 E+12	1, 199868 E+12	1, 211423 E+12	1, 215375 E+11
Média	1, 937007 E+09	2, 10784 E+09	2, 608933 E+09	2, 350223 E+09
Variância	4,784977 E+20	4, 948713 E+20	5, 343244 E+20	5, 523548 E+20
% Igual a zero	85%	85%	75%	70%
%diferente de zero	15%	15%	25%	30%

Tabela 22 – Sumário estatístico GN 72.000 bbl.

Variáveis	Opção 72.000 bbl	Opção 72.000 bbl	Opção 72.000 bbl	Opção 72.000 bbl
	OP Cenário I	OP Cenário II	OP Cenário III	OP Cenário IV
Mínimo	0	0	0	0
Máximo	9, 234242 E+11	9, 644514 E+11	1, 052529 E+11	1, 087278 E+12
Média	9, 594604 E+08	1, 227664 E+09	2, 237275 E+09	2, 966736 E+09
Variância	1, 687265 E+20	1, 98982 E+20	2, 902853 E+20	3, 425739 E+20
% Igual a zero	95%	90%	75%	65%
%diferente de zero	5%	10%	25%	35%

Tabela 23 – Sumário estatístico OP 72.000 bbl.

Nota-se a partir das tabelas do sumário estatístico, que o tipo de matéria prima (*input*) utilizado, e a quantidade de lubrificante a ser produzido (*Output*) são duas das principais variáveis de incerteza deste projeto, uma vez que a planta posta em marcha e alimentada pelo óleo pesado tem menor valor que a planta alimentada pelo gás natural. Além disso, as plantas do cenário I, que produzem maior quantidade de lubrificante (*output*) mais caro são as que apresentam menor grau de incerteza, por isso o valor da opção neste caso é menor.

## 6.7.4. Análise de Sensibilidade

### 6.7.4.1. Impostos Indiretos

Fazendo uma simulação do mesmo problema, porém diminuindo o valor dos impostos indiretos para 20 e 25%, antes considerados em torno de 32,25%, o VPL do projeto com a opção de parar temporariamente será de:

VPL'S	Cenário I	Cenário II	Cenário III	Cenário IV
	35.000 bbl_ GN	35.000 bbl_ GN	35.000 bbl_ GN	35.000 bbl_ GN
VPL – 34%	1, 521121 E+10	1, 370747 E+10	1, 020474 E+10	8, 621909 E+9
VPL – 25%	1, 730974 e+10	1, 563005 E+10	1, 170985 E+10	9, 933473 E+9
VPL – 20%	1, 876443 E+10	1, 696376 E+10	1, 275654 E+10	1, 084739 E+10

Tabela 24 – Variação do VPL com diminuição de imposto para GN 35.000 bbl.

VPL'S	Cenário I	Cenário II	Cenário III	Cenário IV
	35.000 bbl_ OP	35.000 bbl_ OP	35.000 bbl_ OP	35.000 bbl_ OP
VPL – 34%	1, 062332 E+10	9, 159556 E+9	5, 893122 E+9	4, 525161 E+9
VPL – 25%	1, 269841 E+10	1, 103995 E+10	7, 291655 E+9	5, 690159 E+9
VPL – 20%	1, 414568 E+10	1, 235614 E+10	8, 284898 E+9	6, 525702 E+9

Tabela 25 – Variação do VPL com diminuição de imposto para OP 35.000 bbl.

VPL'S	Cenário I	Cenário II	Cenário III	Cenário IV
	72.000 bbl_ GN	72.000 bbl_ GN	72.000 bbl_ GN	72.000 bbl_ GN
VPL – 34%	3, 160696 E+10	2, 851231 E+10	2, 13022 E+10	1, 804283 E+10
VPL – 25%	3, 592495 E+10	3, 246852 E+10	2, 440021 E+10	2, 074319 E+10
VPL – 20%	3, 891801 E+10	3, 521281 E+10	2, 655444 E+10	2, 326452 E+10

Tabela 26 – Variação do VPL com diminuição de imposto para GN 72.000 bbl.

VPL'S	Cenário I	Cenário II	Cenário III	Cenário IV
	72.000 bbl_ OP	72.000 bbl_ OP	72.000 bbl_ OP	72.000 bbl_ OP
VPL 34%	2, 222006 E+10	1, 920712 E+10	1, 247795 E+10	9, 654386 E+9
VPL 25%	2,648992 E+10	2, 307698 E+10	1, 535922 E+10	1, 205731 E+10
VPL 20%	2, 946765 E+10	2, 578535 E+10	1, 740455 E+10	1, 377943 E+10

Tabela 27 – Variação do VPL com diminuição de imposto para OP 72.000 bbl.

Os percentuais da taxa de impostos indiretos utilizados nesta análise, mostram claramente que o projeto é bastante sensível à taxa de imposto cobrado. Um dos próximos tópicos da segunda etapa deste projeto é fazer uma análise mais criteriosa do valor exato da taxa de imposto a ser descontada, pois no caso desta análise, por exemplo, o valor do VPL se altera de maneira significativa, conforme a taxa de imposto indireto.

Sendo assim, pode-se afirmar que este projeto tem grande chance de ser ainda mais viável, do ponto de vista econômico que a análise feita anteriormente, com uma taxa de 32,25%. Isso também significaria que o valor da opção de parar temporariamente será menor para os projetos com taxas menores, visto que as incertezas diminuirão e o projeto se tornará mais *deep-in-the- money*.

## 7 Comentários e Conclusões

Neste trabalho, os preços foram escolhidos como principal fonte de incerteza, por isso foram modelados através de processos estocásticos, seguindo um MGB. Tal tratamento foi dado, pois acredita-se que um dos aspectos mais importantes na análise de OR é o tratamento das suas incertezas.

Ao final das 10.000 simulações feitas para cada cenário, cada *input*, e para as capacidades instaladas de cada planta (35.000 e 72.000 bbl), com o auxílio de Monte Carlo, constatou-se que a planta é viável do ponto de vista econômico, pois os VPL's se mostraram positivos.

Além da avaliação do fluxo de caixa descontado utilizando simulação de Monte Carlo, precificou-se uma das flexibilidades da planta GTL (opção de parada temporária), só lembrando que no caso da planta GTL, esta opção não requer um investimento adicional para poder contar com ela, para isso, o gerente da planta precisa apenas ter conhecimentos da metodologia de opções reais, pois assim, saberá analisar em cada período, se é viável ou não manter a planta funcionando.

De acordo com o capítulo anterior, é possível constatar que o óleo pesado e o cenário IV(perfil  $\alpha = 95\%$ ) são grandes fontes de incerteza deste projeto. Por isso, o valor da opção na combinação destes elementos nos fornece o maior valor observado nas simulações (quanto maiores às incertezas, maior o valor da opção). Isso porque o *CAPEX* da planta produzindo a partir do óleo é mais caro que o da planta produzindo a partir do gás, gerando também um custo fixo *OPEX* maior. O fato do cenário IV ser a maior fonte de incerteza dentre os outros cenário, deve-se ao fato de ser o que menos produz lubrificante (*output*) com maior preço de mercado.

Outra variável que se mostrou bastante sensível neste estudo foi à taxa de imposto indireto descontada da receita bruta do fluxo projetado. O estudo mostrou que uma taxa entre 20 e 25% pode aumentar em até 15% o VPL da planta, tornando-a mais viável.

Mesmo sabendo que as correlações entre *inputs* e *outputs* fazem com que o valor das opções caiam significativamente, o objetivo deste trabalho foi tentar chegar a uma situação o mais próximo possível de um cenário real.

Assim, com base no estudo realizado e contando com as condições atuais de mercado, pode-se afirmar que as plantas analisadas são viáveis do ponto de vista econômico. Além disso, pode-se dizer que a opção de parar temporariamente em alguns cenários econômicos desfavoráveis tem valor e deve ser exercida nestes cenários.

Como sugestão para futuros trabalhos, sugiro uma atenção maior aos impostos, uma vez que os 32,25% de imposto indireto utilizados neste trabalho parece um tanto exagerado; obtenção de séries de preços mais longas para o cálculo dos parâmetros; considerar outros processos estocásticos, tais como: movimento de reversão a média MRM e movimento de reversão a média com saltos MRM com *Jumps* e comparar os resultados; obter um valor mais consistente do custo da planta parada; obter mais informação da tecnologia GTL, afim de poder precificar com mais detalhes os custos e receitas envolvidos no processo.

## 8 Referências bibliográficas

- [1]Baidya, T. K. N; Castro A. L. *Convergência dos Modelos de árvores binomiais para avaliação de opções*. Pesquisa Operacional, v. 3, n. 21, pp.17-30, 2001.
- [2]Brealey, R.A.; Myers, S.C. *Principles of Corporate Finance*. Boston: McGraw-Hill, Inc., sixth ed., 1999, 1093 p.
- [3]Brennan, M.J. & E.S. Schwartz (1985).*Evaluating Natural Resource Investment*. Journal of Business, vol.58, n° 2, 1985, pp.135-157.
- [4]Callari, R. *Produção de óleo Diesel Limpo a Partir do Gás Natural: Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica Para Instalação de Uma Planta GTL ( Gás to Liquid ) no Brasil*. São Paulo; 2007, 85p.
- [5]Copeland, T. & V. Antikarov “*Real Options – A Practitioner’s Guide*”, 2001, 372 p.
- [6] Costa, L. A. *Avaliação Econômica do Projeto GTL: Uma Aplicação da Teoria de Opções Reais com Processos de Reversão á média*. Dissertação de mestrado, DEI /PUC, Rio de Janeiro, 2007, 147 p.
- [7]Dias, M. A. G: *Opções Reais Híbridas com Aplicação em Petróleo*. Tese de doutorado, DEI /PUC, Rio de Janeiro, 2005, 509 p.
- [8] Dixit, A.K. & R.S. Pindyck “*Investment under Uncertainty*”, 1994, 468 p.
- [9]Francisco, M. L. *A importância da flexibilidade gerencial: análise de investimentos usando a teoria das Opções Reais da planta GTL*. Dissertação de mestrado, DEI /PUC, Rio de Janeiro, 2007, 137 p
- [10]Frota, A. E. *Avaliação de opções americanas tradicionais e complexas*. Dissertação de mestrado, DEI /PUC, Rio de Janeiro, 2003, 149 p.
- [11]Garcia, D. A. *Monte Carlo Method for pricing American Options*. Working Paper, University of California at Management Science, v. 43, n. 11, pp. 1589-1602, November 1997.

[12]Haug, E. G. *The Complete Guide to Option Pricing Formulas*. New York: Mc Graw Hill, 1998, 232 p.

[13] Jackel, P. *Monte Carlo Methods in Finance*. New York: Prentice Hall, 2000, 396 p.

[14]Levorsena.I.*Geology of Petroleum*, 2<sup>o</sup> edição, 2<sup>o</sup>imp. Tulsa, Oklahoma: AAPG, 2001. 724P.

[15] McGraw-Hill, Inc., sixth ed., 1999, 1093 p.

[16]Rochman, R. R. *Análise de Métodos Numéricos para Precificação de Opções*. Dissertação de Mestrado, FGV/EAESP, São Paulo, 1998, 176 p.

[17]Rubinstein, R. Y. *Simulation and the Monte Carlo Method*. New York: John Wiley & Sons, 1981, 427 p.

[18]S.Bhattacharya “Project Valuation with Mean-Reverting Cash Flow Streams” *Journal of Finance*., Dezembro. 1987, 387 p.

[19]SongxX,Guo Z;*Technologies for Direct Production of Flexible H2/CO synthesis gas;Energy Conversion Management*.Ed.47-2007.

[20]Thomas, J.E; *Fundamentos de Engenharia do Petróleo*.Rio de Janeiro: Interciência.2002.

[21]Torinho, O.A.F. (1979).*The Valuation of Reserves of Natural Resources: An Option Pricing Approach*.University of California, Berkeley, PhD Dissertation, November 1979, 103 pp.

[22]Trigeorgis, L. “Real Options – Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation”, 1996, 427 p.

[23]Vieira, E. F. *Avaliação de Projetos de Investimentos em Plantas XTL Utilizando a Teoria das Opções Reais*. Dissertação de mestrado, DEI /PUC, Rio de Janeiro, 2007, 78 p.

[24]Vollert, A. "A Stochastic Control Framework for Real Options in Strategic Valuation", 2003, 266 p.