

Bibliografia

AGUIAR, Eduardo Falabella Sousa. **GTL: Uma Importante Rota Alternativa para Gerar Combustíveis, Parafinas e Lubrificantes**. Célula GTL, CENPES/Petrobras, 2006.

ALMEIDA, E., Dunham, F., Bomtempo, J. V. e Bicalho, R.. **Processos de Produção de Combustíveis Sintéticos: Análise das Trajetórias Tecnológicas**. 2º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo & Gás, Rio de Janeiro, Junho 2003.

ALMEIDA, E., Dunham, F., Bomtempo, J. V. e Bicalho, R.. **O Renascimento de Uma Tecnologia Madura: O Processo Fischer-Tropsch de Conversão de Gás Em Combustíveis Líquidos**. Instituto de Economia, UFRJ, 2002.

AL-SAADON, F.T. **Economics of GTL Plants**. Society of Petroleum Engineers, Texas A&M U, Abril de 2005.

ARAÚJO, R. O. **Avaliação de Opções Reais Através do Método dos Mínimos Quadrados de Monte Carlo**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Industrial, PUC-Rio, 2004.

ARMADA, Manuel da Rocha e Pereira, Paulo Jorge. **As Opções Reais na Avaliação de Oportunidades de Investimento - Uma Revisão da Literatura** - Escola de Economia e Gestão da Univ. do Minho.

Aspectos Econômicos da Atividade de *Gas-to-Liquids* (GTL). Novembro 2004. Petrobras / Estratégia e Desempenho Empresarial / Estudos de Mercados e Negócios

AUDI, Ricardo. **Gaseificação da Biomassa: Projeto para a produção de combustíveis renováveis e produtos químicos a partir da biomassa**. Novembro de 2005.

BARAN, Flávio Daniel. **Avaliação de uma Floresta de Eucaliptos na Presença de um Mercado de Certificados para Reduções de Emissões de Carbono: Uma Abordagem por Opções Reais**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Industrial, PUC-Rio, Rio de Janeiro, março de 2005.

BLACK, F. & M. Scholes (1973). **The Pricing of Options and Corporate Liabilities**. Journal of Political Economy, nº 81, 1973, pp.637-659.

BRENNAN, M.J. & E.S. Schwartz (1985). **Evaluating Natural Resource Investment**. Journal of Business, vol.58, nº 2, 1985, pp.135-157.

BREKKE, K.A. and Schieldrop B. (2000). **Investment in flexible technologies under uncertainty**, in: M.J. Brennan and L. Trigeorgis, eds., Project Flexibility, Agency, and Competition: New Developments in the Theory of Real Options (Oxford University Press, New York), 34-49.

COPELAND, T. & Antikarov, V. **Real Options – A Practitioner’s Guide**. Editora Texere LLC, New York, 2001.

CORTAZAR, G. & E.S. Schwartz (1998). **Monte Carlo Evaluation Model of an Undeveloped Oil Field**. Journal of Energy Finance & Development, vol.3, nº 1, pp.73-84.

COX, J.C. & S.A. Ross & M. Rubinstein (1979). **Option Pricing: A Simplified Approach**. Journal of Financial Economics, no 7, 1979, pp.229-263.

DARWIN, C.; Suriano, G. (Editor). **The Origin of Species**. Grammercy; 1998.

DIAS, M.A.G. **Investimento sob Incerteza em Exploração e Produção de Petróleo**. Rio de Janeiro, agosto de 1996. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Industrial, PUC-Rio.

DIAS, M.A.G. Apostila do curso de Análise de Investimentos com Opções Reais do departamento de Engenharia da Produção da PUC-Rio – IND 2072. 1º semestre de 2006.

DIXIT, A.K. & Pindyck R.S. **Investment under Uncertainty**. Princeton University Press, 1994.

EDMAR Almeida; José Bomtempo; Ronaldo Bicalho. **Viabilidade das Plantas GTL: Uma Análise de Sensibilidades das Variáveis Determinantes**. UFRJ, Brasil. Trabalho para o IV LACGEC - Congresso Latinoamericano de Gás e Eletricidade, 2004 - Revista CIER: Ano XV, N° 48, 1° trimestre de 2006.

FERREIRA , L. P. R., Bomtempo V. J., de Almeida, F. L. E.: **Estudo das inovações tecnológicas em GTL com base em patentes: o caso Shell**. 2° Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás.

FINE, C.H. & R.M. Freund (1990). **Optimal Investment in Product-Flexible Manufacturing Capacity**. Management Science, vol.36, nº 4, April, pp.449-466.

GUIMARÃES, Leandro S. Duque. **Comparação Entre O Movimento Geométrico Browniano E O Processo De Reversão À Média Com Saltos Para Avaliação De Opção De Expansão Para Poços De Petróleo**. Rio de Janeiro, junho de 2002. Departamento de Engenharia Industrial, PUC-Rio.

HOLLAND, J. **Adaptation in Natural and Artificial Systems**. University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975.

HULL, J. C. **Options, Futures, and Other Derivatives Securities**. Prentice Hall, 2a ed. 1993, Englewood Cliffs, NJ.

JADIR N. Silva; José C. Sobrinho, Emílio T. Saiki. **Utilização de biomassa na secagem de produtos agrícolas via gaseificação com combustão adjacente dos gases produzidos**. Artigos Científicos Ciência e Tecnologia da Pós-Colheita, 2004.

KAMRAD, B. & R. Ernst (1995). **Multiproduct Manufacturing with Stochastic Input Prices and Output Yield Uncertainty**. *Real Options in Capital Investments: Models, Strategies, and Applications*, Ed. by L. Trigeorgis, Praeger Publisher, Westport, Conn., 1995, pp.281-300.

KEMNA, A.G.Z.. **Case Studies on Real Options**. Financial Management, Autumn, 1993, p. 259-270.

KESTER, W.C. (1984). **Today's Options for Tomorrow's Growth**. Harvard Business Review, nº 62, March-April 1984, pp.153-160.

KULATILAKA, N. (1988). **Valuing the Flexibility of Flexible Manufacturing Systems**. IEEE Transactions on Engineering Management, vol.35, nº 4, Nov.1988, pp.250-257.

KULATILAKA, N. (1995a). **The Value of Flexibility: A General Model of Real Options**. *Real Options in Capital Investments: Models, Strategies, and Application*, Ed. by L. Trigeorgis, Praeger Publisher, Westport, Conn., 1995, pp.89-108.

KULATILAKA, N. (1993). **The Value of Flexibility: The Case of a Dual-Fuel Industrial Steam Boiler**. Financial Management, Autumn 1993, pp.271-280.

KULATILAKA N. e Marcus A. J. (1992). **Project Valuation Under Uncertainty: Where Does DCF Fail?**, Journal of Applied Corporate Finance, Autumn, pp.92-100.

MAJD, S. & R.S. Pindyck (1987). **Time to Build, Option Value, and Investment Decisions**. Journal of Financial Economics, nº 18, 1987, pp.7-27.

MALTHUS, R.M.; Flew, A.G. (Editor). **Essay on the Principle of Population**. Penguin USA; 1983.

MC DONALD, R. & D. Siegel (1985). **Investment and the Valuation of Firms when There Is an Option of Shut Down**. International Economic Review, vol.28, no 2, June 1985, pp.331-349.

MERTON, R.C. (1973b). **An Intertemporal Capital Asset Pricing Model**. Econometrica, vol.41, nº 5, September 1973, pp.867-887.

MONTEIRO, Regina Caspari. **Avaliação de Opções Reais em Ambientes Econômicos de Grande Volatilidade - Uma Ênfase no Cenário Latino-Americano**. USP (Universidade de São Paulo), Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade (dissertação de mestrado).

MYERS, S.C. (1977). **Determinants of Corporate Borrowing**. Journal of Financial Economics, nº 5, November 1977, pp.147-175.

PADDOCK, J.L. & D. R. Siegel & J. L. Smith (1988). **Option Valuation of Claims on Real Assets: The Case of Offshore Petroleum Leases**. Quarterly Journal of Economics, August 1988, pp.479-508

PESTUSIER, R. R.. **Aspectos Econômicos da Atividade de Gas-to-Liquids (GTL)**, Resumo Estratégico, Novembro / 2004.

PETRÓLEO & GÁS BRASIL - **Análise da Conjuntura das Indústrias do Petróleo e do Gás** - Junho de 2001 - Ano 2 – n. 6 - Grupo de Energia – Instituto de Economia – UFRJ

PETRÓLEO & GÁS BRASIL - **Análise da Conjuntura das Indústrias do Petróleo e do Gás** - Fevereiro de 2001 - Ano 2 – n. 2 - Grupo de Energia – Instituto de Economia – UFRJ

PINDYCK, R.S. (1993a). **The Present Value Model of Rational Commodity Pricing**. Economic Journal nº 103, May 1993, pp.511-530.

PINHEIRO, Bernardo. **Produção de Combustíveis Sintéticos a partir do GN: Evolução e Perspectivas**. Rio de Janeiro, julho de 2002. Monografia de Bacharelado. Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

ROCHAM, R. Ricardo e Saito, Ricardo. **Avaliação de métodos numéricos para precificação de derivativos: aplicação no mercado brasileiro**. Relatório de Pesquisa, EAESP/FGV/NPP - Núcleo de Pesquisas e Publicações, nº20 /1999.

SANTOS, Elieber Mateus dos. **Um Estudo Sobre a Teoria das Opções Reais Aplicada à Análise de Investimentos em Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)**. Itajubá: EFEI, 2001. 138p. (Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Escola Federal de Engenharia de Itajubá).

TITO, Edison. **Abordagens de inferência evolucionária em modelos adaptativos**. Rio de Janeiro, Março de 2003. Tese de Doutorado, departamento de Engenharia Elétrica, PUC-Rio.

TOURINHO, 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.

TRIANSTIS, A.J. & J.E. Hodder (1990). **Valuing Flexibility as a Complex Option**. Journal of Finance, vol.45, nº2, June 1990, pp.549-565

TRIGEORGIS, L.: **Real Options - Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation**. MIT Press, Cambridge, MA, 1996, 427 pp.

TRIGEORGIS, L. (1993a). **Real Options and Interactions with Financial Flexibility**. Financial Management, Autumn 1993, pp.202-224.

WENDER, Irving;Zhang, Yulong;Hou, Li e Tierney, Jonh. **Chain Growth in Fischer-Tropsch: Cobalt versus Iron**. Department of Chemical and Petroleum Engineering University of Pittsburgh, CFFS Annual Meeting, August 2004.

Sítios da Internet:

<http://www.amba.com.br/>

<http://www.chevron.com/>

<http://www.gasbrasil.com.br/>

<http://www.gasnet.com.br/>

http://www.int.gov.br/questao/pdf/Ricardo_Audi28112005.pdf/

<http://www.ipt.br/>

<http://www.petroquimica.com.br/>

<http://www.sasol.com/>

<http://www.puc-rio.br/marco.ind/>

Apêndice A: Conversões das Séries de Preços

Imput	Massa específica @ 20 °C (t/m ³)	Massa específica @ 20 °C (t/barril)
Resíduo asfáltico	1,06	0,169
Resíduo de vácuo	1,04	0,165
Petróleo Marlim	0,93	0,148
Petróleo Fazenda Belém	0,98	0,156
Glicerina	1,26	0,200

Tabela 18 - Valores de massa específica para *inputs* líquidos

Fonte: CENPES

Imput	Poder Calorífico Superior (MMbtu/m ³)	Poder Calorífico Superior (MMbtu/barril)	Poder Calorífico Superior (MMbtu/Nm ³)	Poder Calorífico Superior (MMbtu/t)
Resíduo asfáltico	42,07	6,69	-	-
Resíduo de vácuo	39,77	6,32	-	-
Petróleo Marlim	39,21	6,23	-	-
Petróleo Fazenda Belém	40,78	6,48	-	-
Glicerina	21,44	3,41	-	-
Gás natural	-	-	0,0403	50,94
Bagaço de cana	-	-	-	17,15
Madeira	-	-	-	19,84
Coque de petróleo	-	-	-	34,36
Carvão	-	-	-	18,65

Tabela 19 - Valores de poder calorífico para os *inputs*

Fonte: CENPES

Apêndice B: SMC para MRM real e neutro ao risco

Considerando o processo de reversão à média

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

Cuja solução é dada pela equação com a integral estocástica

$$x(T) = x(0)e^{-\eta T} + \bar{x}(1 - e^{-\eta T}) + \sigma e^{-\eta T} \int_0^T e^{-\eta t} dz(t)$$

Onde η é a velocidade de reversão. A variável $x(t)$ tem distribuição normal com média e variância dadas a seguir.

$$E[x(T)] = x(0)e^{-\eta T} + \bar{x}(1 - e^{-\eta T})$$

$$Var[x(T)] = [1 - e^{-2\eta T}] \sigma^2 / (2\eta)$$

Observa-se nas equações acima que o valor esperado de $x(T)$ é uma média de pesos entre o seu valor inicial e a média de longo prazo. Onde os pesos somam 1 e dependem da velocidade de reversão à média e do tempo.

Para fazer simulação é preciso da equação de discretização do processo estocástico, ou seja, $x(t)$ em função de $x(t-1)$. Pode-se usar uma discretização exata, que é uma discretização tal que a precisão independe do tamanho Δt , assim fica possível simular muitos anos à frente²⁶.

A equação para simular $x(T)$, considerando a discretização correta AR(1) de $x(t)$ é a seguinte:

$$x_t = x_{t-1}e^{-\eta\Delta t} + \bar{x}(1 - e^{-\eta\Delta t}) + \sigma\sqrt{(1 - \exp(-2\eta\Delta t)) / (2\eta)}N(0,1)$$

Para o processo dos preços analisados ($P(t)$), ele terá distribuição lognormal com média igual a $\exp\{E[x(T)]\}$. Assim,

$$\bar{x} = \ln(\bar{P}) \quad e \quad E[P(T)] = \exp\{x(0)e^{-\eta T} + \bar{x}(1 - e^{-\eta T})\}$$

²⁶ www.puc-rio.br/marco.ind/sim_stoc_proc.html.

Para os preços das *commodities* seguirem a lognormal com a média desejada, tem-se que subtrair a metade da variância, pois a exponencial de uma distribuição normal adiciona metade da variância à média da distribuição lognormal.

$$P(t) = \exp\{x(t) - 0,5 * Var[x(t)]\}$$

Onde a variância é uma função determinística do tempo.

Com base na equação abaixo, é possível fazer simulação real para os preços das *commodities*.

$$P(t) = \exp\left\{\ln[P(t-1)]\exp[-\eta\Delta t] + \left[\ln(\bar{P})(1 - \exp[-\eta\Delta t])\right] - \left[(1 - \exp[-2\eta T])\frac{\sigma^2}{4\eta}\right] + \sigma\sqrt{\frac{1 - \exp[-2\eta\Delta t]}{2\eta}}N(0,1)\right\}$$

Para o caso de reversão à média, o *drift* real é $\alpha = \eta(\bar{x} - x)$, e o retorno de conveniência líquido não é constante, mas em função de x :

$$\delta = \mu - \alpha = \mu - \eta(\bar{x} - x)$$

Onde μ é a taxa de desconto ajustada ao risco.

Com essa expressão é possível calcular o drift neutro ao risco para o MRM:

$$r - \delta = r - \mu + \eta(\bar{x} - x) = \eta(\bar{x} - x) - (\mu - r) = \eta\left\{\bar{x} - \left(\frac{\mu - r}{\eta}\right) - x\right\}$$

Comparando-se os dois *drifts*, percebe-se que $(\mu - r)$ é o prêmio de risco. Para passar do processo real para o processo neutro ao risco, basta subtrair o prêmio de risco normalizado $((\mu - r)/\eta)$ da média de longo prazo $\bar{x} (= \ln(\bar{P}))$. Ou seja, no processo neutro ao risco os preços convergem para um valor menor do que a média de longo prazo.

Substituindo o *drift* neutro ao risco no processo estocástico de reversão à média, pode-se alcançar uma equação um pouco diferente para a simulação de $x(t)$ e assim para $P(t)$. Assim, a equação risco-neutra em tempo contínuo é dada por:

$$dx = \eta \left(\left[\bar{x} - \frac{\mu - r}{\eta} \right] - x \right) dt + \sigma dz$$

No formato risco-neutro, o processo $x(t)$ é simulado usando a expressão de discretização exata:

$$x_t = x_{t-1} e^{-\eta \Delta t} + \left[\bar{x} - \left((\mu - r) / \eta \right) \right] (1 - e^{-\eta \Delta t}) + \sigma \sqrt{(1 - \exp(-2\eta \Delta t)) / (2\eta)} N(0,1)$$

A simulação do processo é simples como no caso do processo real. Basta calcular $x(t)$ com a equação acima e obter uma amostra da distribuição normal padrão $N(0, 1)$. Com os valores simulados de $x(t)$, usa-se a equação do preço $P(t) = \exp\{x(t) - 0,5 \text{Var}[x(t)]\}$ junto com a equação da variância de $x(t)$ a fim de obter $P(t)$. Combinando estas três equações, pode-se simular o processo neutro ao risco para $P(t)$ diretamente com a equação abaixo.

$$P(t) = \exp \left\{ \left[\ln[P(t-1)] \exp[-\eta \Delta t] \right] + \left[\ln(\bar{P}) - \frac{\mu - r}{\eta} \right] (1 - \exp[-\eta \Delta t]) \right. \\ \left. - \left[(1 - \exp[-2\eta T]) \frac{\sigma^2}{4\eta} \right] + \sigma \sqrt{\frac{1 - \exp[-2\eta \Delta t]}{2\eta}} N(0,1) \right\}$$

Onde: η = velocidade de reversão

\bar{P} = média de longo prazo (valor de equilíbrio)

A equação para fazer a simulação real é muito parecida com a equação acima, basta suprimir o termo $\left(\frac{\mu - r}{\eta} \right)$. Esse termo é um prêmio de risco normalizado que penaliza $\ln(\bar{P})$.