



Letícia de Almeida Costa

**Avaliação de Opções de Swing em Contratos de Gás
Natural Usando o Modelo de Dois Fatores**

Tese de Doutorado

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da PUC-Rio.

Orientador: Prof°. Carlos Patricio Samanez

Rio de Janeiro
Julho de 2012



Letícia de Almeida Costa

Avaliação de Opções de Swing em Contratos de Gás Natural Usando o Modelo de Dois Fatores

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Carlos Patricio Samanez

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. Paulo Henrique Soto Costa

Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

Prof. Antonio Carlos Figueiredo Pinto

IAG - PUC-Rio

Prof. José Paulo Teixeira

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. Fernando Antonio Lucena Aiube

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. Carlos Frederico da Silva Crespo

Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 03 de Julho de 2012

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

Letícia de Almeida Costa

Graduou-se em Ciências Econômicas pela PUC-Rio em 2002. Obteve o título de Mestre pela PUC-Rio em Engenharia de Produção, na área de Finanças e Análise de Investimentos em 2007. Consultora na área de Finanças e Análise de Investimento. Atuou como consultora na empresa Eletrobras Furnas para a elaboração do Plano Diretor de Gestão Corporativa de Risco de Furnas, e em projetos da Petrobras e Eletronuclear sobre Avaliação de Projetos através da Teoria de Opções Reais.

Ficha Catalográfica

Costa, Letícia de Almeida

Avaliação de opções de swing em contratos de gás natural usando o modelo de dois fatores / Letícia de Almeida Costa ; orientador: Carlos Patricio Samanez. – 2012.

88 f. ; 30 cm

Tese (doutorado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2012.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Finanças. 3. Derivativos. 4. Precificação de contratos. 5. Processos estocásticos. I. Samanez, Carlos Patricio. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

Dedico a minha tese de doutorado à minha família, motivação maior de tudo na minha vida. Pessoas que fazem a diferença, sem as quais de nada vale o esforço de tentar ser cada dia melhor!

Aos meus pais, José Salvador e Marisa, exemplos de força, amor e dedicação, bases de quem eu sou e os maiores incentivadores dessa conquista.

À minha irmã, Aline, por ser única e tão essencial na minha vida. Sem você nada disso faria sentido!

À minha avó, Joaquina pelo amor, apoio e rezas nos momentos importantes. Ao meu cunhado, Fabricio que passei a confiar como um irmão e que me atura em diversos momentos.

Obrigada por estarem sempre ao meu lado e acreditarem em mim e nos meus sonhos. Amo vocês!

Agradecimentos

À minha família pela torcida, carinho e incentivo que sempre tiveram comigo, principalmente nesses anos do doutorado.

Ao professor e tutor Carlos Patricio pelo estímulo, paciência, amizade e orientação que me foram essenciais nesses anos do doutorado.

Ao professor Fernando Aiube pelos ensinamentos, orientações e sugestões sem os quais eu não conseguiria desenvolver tão bem esse trabalho.

Aos professores Paulo Henrique, Antonio Figueiredo, Carlos Frederico, minha mãe Marisa e amigo Gareth pela ajuda nas correções e sugestões para a última versão deste trabalho.

Aos amigos e colegas de estudo, pela companhia e amizade nesses anos, em especial, Juliano e Felipe.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio, pelos auxílios concedidos e pelo apoio financeiro.

Resumo

Costa, Letícia de Almeida; Samanez, Carlos Patricio. **Avaliação de Opções de Swing em Contratos de Gás Natural Usando o Modelo de Dois Fatores**. Rio de Janeiro, 2012. 88p. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

No mercado de gás natural (GN), muitos contratos incorporam flexibilidades no volume a ser entregue, conhecidas como opções de *swing*. Sujeitos a restrições, esses contratos concedem ao titular a opção de exercer o direito de receber volumes maiores ou menores de GN contratado, de acordo com as oscilações dos preços de mercado, dos indicadores econômicos e a demanda. Através das opções de *swing* é possível valorar as flexibilidades embutidas em um contrato de GN. As opções de *swing* fazem parte das chamadas opções exóticas, cujas características são específicas distinguindo-se das opções padrão. Um dos aspectos primordiais na avaliação de opções é determinar de que forma são tratadas as incertezas do contrato. No presente trabalho, o preço do GN é a principal fonte de incerteza e foi considerado estocástico seguindo o modelo de dois fatores de Schwartz e Smith (2000) com sazonalidade trimestral. As commodities, em geral, não são negociadas no mercado a vista, sendo negociadas nos mercados futuros. Por isso, para estimar os preços à vista do GN, usando os preços dos contratos futuros do *Henry Hub* negociados na NYMEX, foi preciso implementar o método do filtro de Kalman, que relaciona as variáveis não observáveis com os preços futuros de diversas maturidades. Como resultado principal, analisou-se o valor das cláusulas contratuais, ou seja, opções de *swing* que ajudam na necessidade de *hedge* de um mercado sujeito a incertezas. O apreamento da opção foi realizado por meio do modelo de árvore binomial bi-variável em tempo discreto, desenvolvido por Hahn e Dyer (2011) para o modelo de Schwartz e Smith (2000). O valor da opção de *swing* foi positivo nos dois casos analisados, mostrando que essa opção tem valor e, portanto, deve ser cuidadosamente analisada para inclusão nos contratos de GN. As características do contrato analisado foram as mesmas especificadas em Jaillet *et al.*(2004).

Palavras-chave

Finanças; derivativos; precificação de contratos; processos estocásticos.

Abstract

Costa, Letícia de Almeida; Samanez, Carlos Patrício (Advisor). **Valuation of Natural Gas Contracts with Swing Options Using Two-Factor Model.** Rio de Janeiro, 2012. 88p. D.Sc. Thesis - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

In energy markets, in particular, natural gas (NG), many contracts incorporate flexibility in the volume to be delivered. These contracts are known as swing options or take-or-pay contracts. Subject to restrictions, such contracts allow the option holder to exercise the right to receive greater or smaller amounts of NG contracted in accordance with market price, economic indicators and demand. Through swing options it is possible to value the flexibilities built into a contract for NG. Swing options are part of family called exotic options, which have unique distinguishing characteristics in comparison to standard options. One of the key aspects in the evaluation of options is to determine how they behave as a result of the uncertainties of the contract. In this work, the price of NG was the main source of uncertainty and was considered following the stochastic two-factor model of Schwartz and Smith (2000) with quarterly seasonality. Commodities in general are not traded in the spot market, but rather traded in futures markets. Therefore, to estimate the spot prices of NG, using the prices of futures contracts traded on NYMEX Henry Hub, it was necessary to implement the Kalman filter method, which relates the unobservable variables in the future prices of various maturities. As the primary focus, we analyzed the value of contractual terms, i.e. swing options that help to hedge in a market subject to uncertainties. The pricing of the option was made through the binomial tree model bi-variable in discrete time developed by Hahn and Dyer (2011) for the model of Schwartz and Smith (2000). The value of the swing option was positive in both cases analyzed, showing that this option has value and therefore should be carefully considered for inclusion in contracts of natural gas. The characteristics of the analysis were the same as specified in Jaillet et al. (2004).

Keywords

Finance; derivatives; pricing contracts; stochastic processes.

Sumário

1 . Introdução	12
2 . Processo Estocástico para o Preço do Gás Natural	15
2.1. Processos Estocásticos	15
2.2. Modelos de Dois Fatores	16
2.2.1. O Modelo de Dois Fatores de Schwartz e Smith	20
3 . Árvore de Eventos	25
3.1. Árvore Binomial para Dois Fatores – Hahn e Dyer	27
4 . Mercado de Opções	31
4.1. Opções de <i>Swing</i>	34
5 . Opções de <i>Swing</i> nos Contratos de Gás Natural	36
5.1. O Mercado de Gás Natural	36
5.1.1. Mercado de Gás Natural no Brasil	37
5.1.2. Contratos de Gás Natural no Mercado Brasileiro	39
5.2. O Contrato de <i>Swing</i> Aplicado ao Gás Natural	40
5.3. Exemplo de Cálculo da Opção de <i>Swing</i>	43
6 . Estudo de Caso	48
6.1. Características do Contrato	48
6.2. Análise da Série de Preços do GN	49
6.2.1. Estimção dos Parâmetros Via Otimização	51
6.3. Construção da Árvore de Preços do Gás Natural	55
6.4. Cálculo da Opção de <i>Swing</i> no Contrato de Gás Natural	57
6.5. Resultados	63
6.6. Análise de Sensibilidade	64
7 . Conclusão	71
8 . Bibliografia	73

9 . Apêndice A: Modelos Estocásticos de Fator Único	80
9.1. Movimento Geométrico Browniano	80
9.2. Movimento de Reversão à Média	81
10 . Apêndice B: Árvores de Eventos	83
10.1. Árvore Binomial de Cox, Ross e Rubinstein	83
10.2. Árvore Binomial de Nelson e Ramaswamy	86

Lista de figuras

Figura 1 - Ramificações da árvore binomial de dois fatores	27
Figura 2 – Ramificações por partes da árvore binomial de dois fatores	29
Figura 3 – Valor da flexibilidade gerencial	42
Figura 4 – Árvore Trinomial do preço à vista dessazonalizado do GN	44
Figura 5 – Ramificações do tipo normal, crescente e decrescente	44
Figura 6 – Árvore Trinomial da opção de <i>swing</i> – Preço de Exercício Fixo	47
Figura 7 – Preços futuros do gás natural – <i>Henry Hub</i>	51
Figura 8 – Árvore binomial bidimensional dos preços do gás natural	56
Figura 9 – Esquema dos preços do gás natural	57
Figura 10 – Árvore de opção de <i>swing</i> – Preço de Exercício Fixo	60
Figura 11 – Árvore de opção de <i>swing</i> – Preço de Exercício Variável	62
Figura 12 – Valor da Opção X Preços de Exercícios	65
Figura 13 – Valor da Opção X Taxa de reversão à média	66
Figura 14 – Valor da Opção X Tendência de longo prazo	67
Figura 15 – Valor da Opção X Prêmio de risco de longo prazo	67
Figura 16 – Valor da Opção X Tendência neutra ao risco	68
Figura 17 – Valor da Opção X Volatilidade de curto prazo	68
Figura 18 – Valor da Opção X Volatilidade de longo prazo	69
Figura 19 – Valor da Opção X Prêmio de risco de curto prazo	69
Figura 20 – Valor da Opção X Correlação	70
Figura 21 – Valor da Opção X Taxa de Juros	70
Figura 22 – Árvore Binomial de Cox, Ross e Rubinstein	84
Figura 23 - Árvore Binomial de Nelson e Ramaswamy	86

Lista de tabelas

Tabela 1 – Preço futuro do GN e fatores de sazonalidade	44
Tabela 2 – Informações das séries de preços futuros do gás natural utilizadas	50
Tabela 3 – Parâmetros usados para a simulação	52
Tabela 4 – Parâmetros Estimados	55
Tabela 5 – Preços de Exercício do GN	61