

# Opção de troca de produto na indústria de fertilizantes

**Rafael Branco Rodrigues**

*Petrobras – Petróleo Brasileiro SA – Rio de Janeiro/RJ, Brasil*

**Luiz de Magalhães Ozorio**

*Faculdades de Economia e Finanças Ibmec – Rio de Janeiro/RJ, Brasil*

**Carlos de Lamare Bastian Pinto**

*Faculdades de Economia e Finanças Ibmec – Rio de Janeiro/RJ, Brasil*

**Luiz Eduardo Teixeira Brandão**

*Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – Rio de Janeiro/RJ, Brasil*

Recebido em 06/setembro/2014

Aprovado em 12/janeiro/2015

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Editor Científico: Nicolau Reinhard

DOI: 10.5700/rausp1189

## RESUMO

Fertilizantes são importantes para a produção agrícola mundial devido à melhoria de produtividade que proporcionam. Neste artigo, utiliza-se a teoria de opções reais para avaliar a opção de troca de produto final, amônia ou ureia, em uma fábrica de fertilizantes nitrogenados. O método de simulação Monte Carlo foi utilizado para definir o valor da opção de troca na fábrica de fertilizantes, considerando as incertezas nos preços do gás natural (principal matéria-prima), amônia e ureia, assumindo que esses seguissem um movimento de reversão à média. Nos resultados, aponta-se que essa opção é relevante na análise de projetos de fábricas de fertilizantes, podendo ser fundamental, em muitos casos, sua consideração para a viabilidade do projeto.

**Palavras-chave:** simulação de Monte Carlo, fertilizantes, opção de troca, opções reais, amônia, estocástico, movimento de reversão à média.

## 1. INTRODUÇÃO

Fertilizantes são substâncias que promovem a nutrição do solo com o objetivo de aumentar a produtividade agrícola. Esses nutrientes podem ter origem orgânica, como os adubos provenientes de resíduos animais e vegetais, ou sintéticos, oriundos primordialmente da indústria mineral e petroquímica.

As principais deficiências encontradas no solo são as dos elementos químicos nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). Surgem daí os principais compostos de fertilizantes NPK comercializados em diferentes quantidades de cada um desses três macronutrientes, de acordo com a deficiência encontrada no solo. Os fertilizantes fosfatados e potássicos são obtidos a partir de reservas

*Rafael Branco Rodrigues*, Mestre em Economia pelo Ibmec Rio de Janeiro, é Administrador na Petrobras – Petróleo Brasileiro SA (CEP 20031-170 – Rio de Janeiro/RJ, Brasil).

E-mail: [rafaelbranco2@gmail.com](mailto:rafaelbranco2@gmail.com)

Endereço:

Petrobras – Petróleo Brasileiro SA  
Avenida República do Chile, 330  
Centro  
20031-170 – Rio de Janeiro – RJ

*Luiz de Magalhães Ozorio*, Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Doutor em Finanças pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, é Professor Associado das Faculdades de Economia e Finanças Ibmec (CEP 20030-020 – Rio de Janeiro/RJ, Brasil).

E-mail: [Imozorio@ibmecrj.br](mailto:Imozorio@ibmecrj.br)

*Carlos de Lamare Bastian Pinto*, Mestre em Finanças pelas Faculdades de Economia e Finanças Ibmec-RJ, Doutor em Administração de Empresas com Área de Concentração em Opções Reais pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, é Professor Associado do Mestrado e Graduação em Administração das Faculdades de Economia e Finanças Ibmec (CEP 20030-020 – Rio de Janeiro/RJ, Brasil).

E-mail: [carlos.bastian@ibmecrj.br](mailto:carlos.bastian@ibmecrj.br)

*Luiz Eduardo Teixeira Brandão*, Mestre e MBA pela Universidade de Stanford, Doutor em Finanças pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, é Professor Associado do Departamento de Administração da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (CEP 22451-900 – Rio de Janeiro/RJ, Brasil).

E-mail: [brandao@iag.puc-rio.br](mailto:brandao@iag.puc-rio.br)

minerais, já os fertilizantes nitrogenados têm como principal matéria-prima o gás natural.

A relevância dessa indústria é o fato de ela ser de suma importância para o aumento da produtividade no agronegócio. Observa-se, no cenário mundial, que tanto a produção de fertilizantes quanto seu consumo concentram-se em poucos países. A produção é concentrada devido à escassez de recursos naturais que são matérias-primas no processo produtivo dos nutrientes. A maior parte da demanda, por sua vez, concentra-se nas nações que são grandes produtoras agrícolas mundiais.

A indústria de fertilizantes é intensiva de capital e requer alto investimento inicial. O foco deste trabalho está na indústria petroquímica, na produção de fertilizantes nitrogenados intermediários e básicos – amônia e ureia –, que possuem características de *commodities* e servem de insumos para as empresas que comercializam os compostos para o consumidor final.

No processo produtivo de uma planta de fertilizantes, a ureia depende da produção de amônia, entretanto ambas as *commodities* possuem valor de mercado. Essa característica dá ao investidor a possibilidade de definir qual produto irá produzir para maximizar seu resultado, em função das variações dos preços de mercado de seus insumos e dos produtos finais.

Considerando essa dinâmica do mercado de fertilizantes intermediários e o vultoso investimento inicial em uma planta de fertilizantes, é necessário avaliar adequadamente o valor do negócio. A teoria das opções reais possibilita ir além dos métodos tradicionais de avaliação por fluxo de caixa descontado, como valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR), pois permite avaliar a flexibilidade que um projeto real de investimentos confere ao gestor.

O objetivo neste trabalho é avaliar a opção de troca de produto final, ou *switch option*, em uma planta hipotética de fertilizantes considerando a teoria das opções reais (TOR). Será utilizada a simulação de Monte Carlo para definir as trajetórias de preços que influenciam no fluxo de caixa do projeto.

O trabalho é organizado da seguinte maneira: após esta seção introdutória, na segunda seção apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre a teoria das opções reais; a seguir, no tópico três, faz-se uma breve análise do mercado mundial de fertilizantes e do cenário brasileiro; na quarta seção, é apresentado o modelo que servirá de base para as análises propostas e serão definidos os parâmetros das simulações; na parte cinco, detalha-se cada uma das quatro simulações realizadas, analisam-se os resultados obtidos e fazem-se algumas análises de sensibilidade dos resultados a alterações nos parâmetros; por fim, na sexta seção, apresentam-se a conclusão e as oportunidades de pesquisa inexploradas neste trabalho.

## 2. ANÁLISE DE PROJETOS E A TEORIA DAS OPÇÕES REAIS

Os métodos tradicionais de fluxo de caixa descontado, apesar de serem mais difundidos e de aplicação mais fácil

na avaliação de projetos de investimento, não captam a flexibilidade característica dos ativos reais. Em outras palavras, técnicas como o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR) não são as mais adequadas, se utilizadas de forma singular, quando o gestor tem opções ou alternativas a tomar em um ambiente de incerteza.

A teoria das opções reais amplia as possibilidades de análise desses métodos tradicionais de fluxo de caixa descontado, pois permite que se avaliem projetos reais com as possibilidades que os gestores de fato enfrentam em suas decisões do dia a dia.

No grupo classificado por Dias (2014) como opções reais operacionais, existem as opções de troca/modificação (*Switch*), que se subdividem em insumo, produto, uso e localização. Bastian-Pinto, Brandão e Alves (2010) avaliaram o valor da opção de troca de insumo do carro *flex fuel* no Brasil, que aceita como combustível tanto o etanol quanto a gasolina. Brandão, Penedo e Bastian-Pinto (2013) concluem que essa opção na indústria de biocombustíveis tem valor que não é captado pelos métodos tradicionais de fluxo de caixa descontado. Na indústria sucroalcooleira, Bastian-Pinto *et al.* (2009) verificaram que, de fato, a opção de troca de produto praticada pelos produtores de açúcar e álcool tem valor incremental. Ozório, Bastian-Pinto, Baidya e Brandão (2013) utilizaram a simulação de Monte Carlo para avaliar a opção de troca de produto na indústria siderúrgica, onde as incertezas eram os preços dos diferentes tipos de aço produzidos, que seguiam um movimento de reversão à média (MRM).

Existem poucos trabalhos na literatura que tratam de opções reais na área de fertilizantes. Wang e Li (2010) avaliam o valor obtido pela flexibilidade de uma planta de ureia na China pela ampliação da opção de insumo principal, podendo a fábrica utilizar óleo combustível ou gás natural como matéria-prima do processo. Os autores concluem que a teoria das opções reais pode ser usada eficazmente para avaliar a decisão de ampliação de plantas de fertilizantes ou casos similares. Brasil, Aronne e Rajão (2011) utilizam opções reais para avaliar possibilidades de expansão e verticalização em uma mina de produção de fertilizantes fosfatados. Dockendorf e Paxson (2009) avaliaram a opção de troca de produto em uma planta flexível de fertilizantes, bem como o valor da suspensão temporária da produção. Para isso, utilizaram um método analítico, no qual consideraram os preços da ureia e da amônia como as duas variáveis de incertezas, ambas seguindo um movimento geométrico browniano (MGB). Os próprios autores deixam como oportunidade de pesquisa a replicação do estudo com as variáveis seguindo outro processo estocástico, no caso o movimento de reversão à média (MRM). Os testes de raiz unitária dificilmente rejeitam que os preços de *commodities* não seguem um MGB, entretanto não há consenso sobre qual processo estocástico deva ser considerado para descrever as possíveis trajetórias de preço de um produto. Por outro lado, noção econômica de que os preços flutuam em torno de um preço de equilíbrio de longo prazo em função da oferta e demanda é um argumento

para utilizar-se o MRM como processo estocástico ao avaliar opções cujas incertezas são *commodities*, principalmente se os projetos em questão são de vida longa.

Neste artigo, aproveita-se a oportunidade de pesquisa deixada por Dockendorf e Paxson (2009), porém utiliza-se a simulação de Monte Carlo para avaliar a planta flexível de fertilizantes. Outra diferença importante é que foi adicionada uma terceira variável estocástica ao estudo, o gás natural (GN), principal matéria-prima do processo produtivo, de cujo preço depende grande parte do custo de produção dos fertilizantes nitrogenados. Assim, são considerados neste trabalho os preços do gás natural, da amônia e da ureia comportando-se como um MGB e MRM, todos correlacionados entre si. Inicialmente será feita a simulação considerando apenas as duas variáveis de *output* do processo como incertezas, utilizando ambos os processos estocásticos mencionados. Em seguida, com o objetivo de trazer a avaliação para algo mais próximo da realidade, incluir-se-á a variável de custo (GN) ao modelo, o que o torna mais complexo, porém mais completo.

### 3. A INDÚSTRIA DE FERTILIZANTES

Os fertilizantes são de grande importância para a indústria agropecuária, pois são responsáveis pelo aumento da produtividade agrícola via enriquecimento da qualidade do solo para plantio. Como as principais deficiências das terras cultiváveis são os nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), os fertilizantes amplamente produzidos e comercializados são produtos compostos pela mistura desses três nutrientes, chamada NPK. Para obtenção desses elementos químicos, os processos industriais partem da exploração de recursos naturais pela atividade de mineração e pela exploração de reservas de hidrocarbonetos.

Os fertilizantes nitrogenados têm como principal matéria-prima o gás natural. A partir de um processo químico, obtém-se a amônia que, por sua vez, pode ser comercializada como insumo para outras indústrias, como as de explosivos, de produtos de limpeza e de fibras e plásticos, ou passar por diferentes processos industriais para produção de fertilizantes básicos, como ureia, nitrato de amônio ou fosfatados de amônio – DAP e MAP.

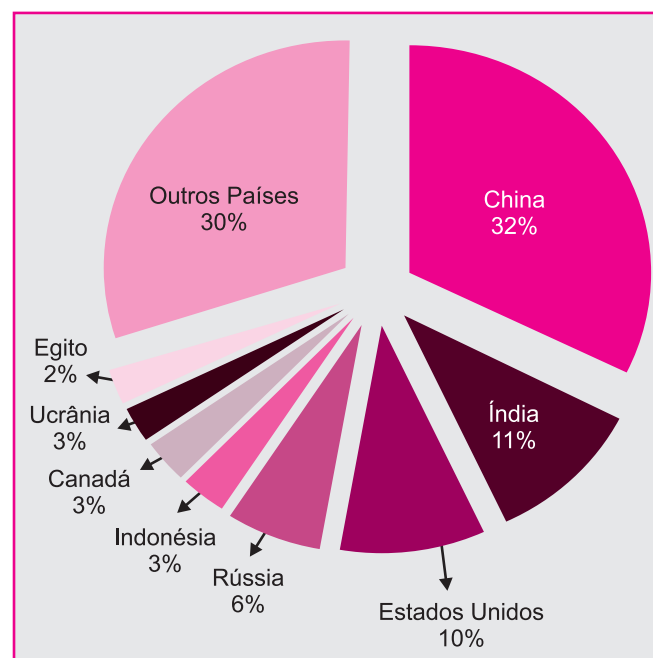
De forma análoga, rochas fosfáticas e rochas potássicas são objeto de mineração e passam por processos industriais para obtenção de fertilizantes básicos que contêm fósforo e potássio em sua composição e serão distribuídos para comercialização.

#### 3.1. O mercado mundial de fertilizantes

Segundo dados da *International Fertilizer Industry Association* (IFA), os maiores consumidores mundiais de fertilizantes são China, Índia, Estados Unidos e Brasil. A China também se destaca como maior produtora de nitrogenados e fosfatados, enquanto o maior produtor de fertilizantes potássicos é o Canadá, seguido pela Rússia. Verifica-se, no mercado mundial,

que tanto a produção quanto o consumo de fertilizantes se concentram em poucos países.

A concentração da produção de fertilizantes é determinada pela disponibilidade de jazidas minerais que fornecem matéria-prima aos processos industriais. Observa-se, na Figura 1, que no caso da produção de fertilizantes nitrogenados oito países detêm 70% da produção. Fato semelhante ocorre na produção de fertilizantes fosfatados: China, Índia e Estados Unidos produzem juntos 65% do total desse nutriente.



**Figura 1: Produção de Fertilizantes Nitrogenados por País em 2011**

Fonte: IFA (2014).

Já o consumo está intimamente relacionado ao vulto da atividade agrícola em cada país. Quanto maior o agronegócio, maior a necessidade de utilizar nutrientes para garantir a produtividade e a manutenção da fertilidade do solo. Verifica-se, assim, que em países onde a agricultura e a pecuária são de grande volume há consumo de fertilizantes proporcional, sendo China, Índia, Estados Unidos e Brasil os maiores consumidores mundiais dos três principais nutrientes, ou seja, das formulações NPK.

#### 3.2. O mercado brasileiro de fertilizantes

Como expressivo produtor agrícola, o Brasil é um grande consumidor de fertilizantes. Dados mostram o país entre os

cinco maiores mercados consumidores, especialmente de fertilizantes potássicos e nitrogenados. Entretanto, a capacidade de produção nacional não atende à demanda e, com isso, o país tornou-se um grande importador desses nutrientes. Especificamente sobre o consumo e a produção de fertilizantes nitrogenados no Brasil, percebe-se, conforme a Figura 2, uma queda na relação entre o total produzido no país e o total consumido no período de 1998 a 2011. Nesses anos, nota-se que a oferta nacional se mantém praticamente estável enquanto o consumo tende a crescer. Com isso, em 2011 a produção nacional de nitrogenados supre apenas 24% da demanda interna.

Quanto aos fertilizantes fosfatados, observa-se uma menor dependência externa, com a relação entre produção e consumo no Brasil maior que 50%. O Brasil está entre os maiores produtores mundiais, entretanto também é listado entre os maiores consumidores, assim continua dependendo da importação de fertilizantes fosfatados.

Os fertilizantes oriundos de rochas potássicas são aqueles dos quais o país tem maior dependência externa. Com a alta no consumo nos últimos anos, a produção nacional supre menos de 10% do total gasto. Em função dessa capacidade insuficiente de produção desses nutrientes no Brasil, é necessário importar cada vez mais fertilizantes.

Como a maior parcela do consumo local é importada, o País pode ser considerado um tomador de preços em relação a fertilizantes, já que as flutuações nos preços internacionais de fertilizantes impactam diretamente os preços praticados localmente e, conseqüentemente, os produtores agrícolas brasileiros. Isso também vale para os preços de fertilizantes nitrogenados, foco deste trabalho, em cujas análises se utilizaram preços internacionais para retratar essa característica do mercado brasileiro.

Outro ponto válido de menção é o fato de o Ministério da Agricultura, órgão responsável pela fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes no País, ter instituído o Plano Nacional de Fertilizantes com o objetivo de reduzir essa de-

pendência externa da agricultura brasileira pelo aumento da produção interna. Assim, surge mais um elemento da relevância da proposta deste trabalho de análise de viabilidade de uma planta de fertilizantes no Brasil.

#### 4. METODOLOGIA

Nesta seção, serão definidos os aspectos metodológicos que norteiam o estudo. Primeiro será estabelecido o modelo hipotético da planta simplificada, depois serão definidas as premissas do modelo e, por fim, será descrito como os parâmetros da simulação foram estimados.

##### 4.1. O modelo

Antes de definir os parâmetros, é preciso estabelecer o modelo de uma planta hipotética de produção de amônia e ureia. Como já dito anteriormente, o insumo básico da produção de fertilizantes nitrogenados é o gás natural.

De forma simplificada, o gás síntese passa por um processo químico para produção de amônia que, por sua vez, é a matéria-prima para produção de ureia. Ambos os produtos, amônia e ureia, têm valor de mercado e características de *commodities*. Assim, considerando as incertezas no preço dos produtos e da matéria-prima principal do processo, o gestor de uma planta de fertilizantes nitrogenados pode optar por vender o produto que maximize o retorno do investimento. Na Figura 3, ilustra-se o processo simplificado.

Seguindo esse modelo simplificado, as incertezas consideradas serão o preço do gás natural, o preço da amônia e o preço da ureia. Os demais custos de produção envolvidos serão desconsiderados, visto que o objetivo do trabalho é demonstrar que há valor na opção de troca de produto final em uma fábrica de fertilizantes e não detalhar rigorosamente os gastos envolvidos na produção de amônia e ureia.

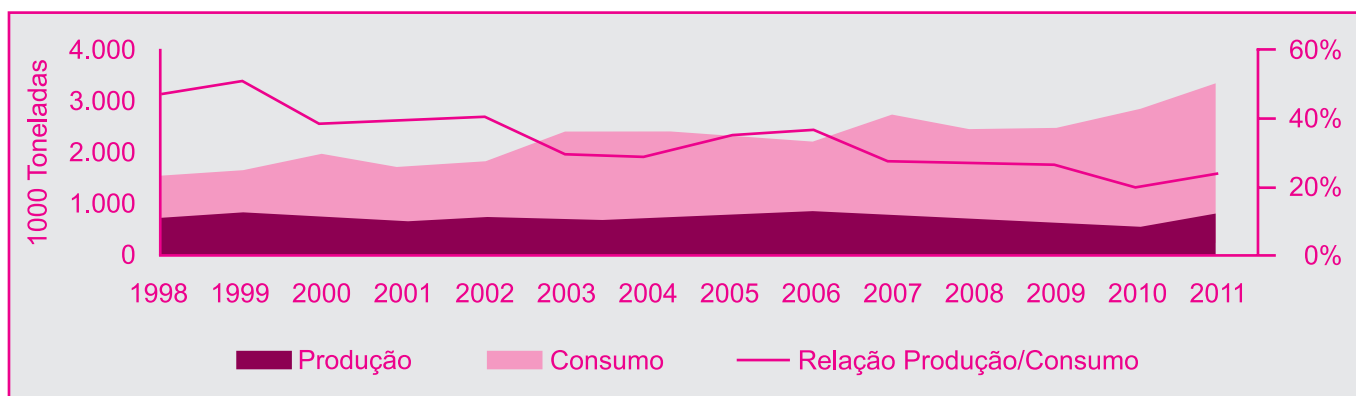
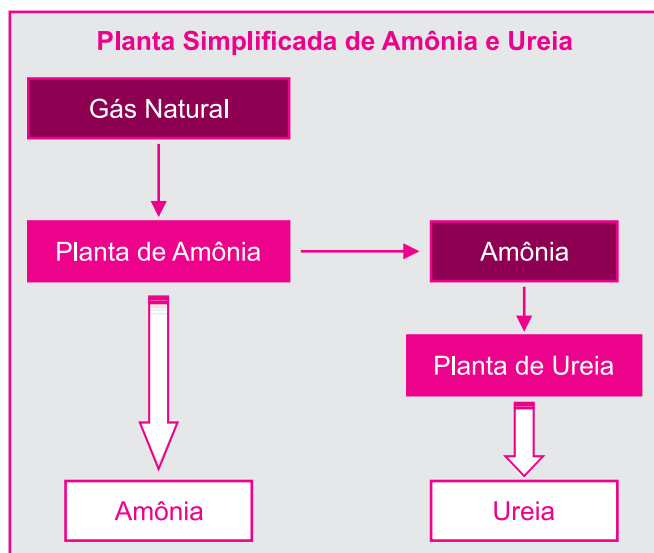


Figura 2: Produção e Consumo Anual de Fertilizantes Nitrogenados no Brasil

Fonte: IFA (2014).



**Figura 3: Processo Simplificado de uma Fábrica de Fertilizantes Nitrogenados**

#### 4.2. Premissas

Definido o modelo hipotético simplificado de uma planta flexível de fertilizantes, serão fixados os parâmetros que condicionarão a análise. Serão desconsiderados no modelo impostos, depreciação e necessidade de capital de giro.

Primeiramente, será definido o investimento inicial para construir a planta flexível de fertilizantes. De acordo com Dockendorf e Paxson (2009), especialistas apontam que o investimento inicial necessário para montar uma planta com capacidade de 730 mil toneladas métricas (mt) de amônia por ano é de US\$ 550 milhões. O montante para a instalação de uma fábrica de ureia, com capacidade de produção de 1.260 mil toneladas métricas (mt) por ano, é de US\$ 340 milhões. Esses montantes são coerentes com as informações de valores de investimento publicadas por empresas que atuam na área de fertilizantes nitrogenados no Brasil em plantas de mesmo porte à época deste trabalho.

Assumiu-se taxa livre de risco real de 4% ao ano, já descontada a inflação, a qual será utilizada para trazer a valor presente os fluxos de caixa neutro ao risco proveniente das simulações. Já o custo de capital utilizado para definir o valor presente da avaliação determinística é de 10% em termos reais, descontada a inflação.

No momento da avaliação do projeto hipotético os preços do gás natural, amônia e ureia – as três variáveis de incerteza do modelo – eram, respectivamente, US\$ 4,30, US\$ 423,00 e US\$ 330,00, preços iniciais considerados nas simulações.

Outra definição é o intervalo de tempo que será utilizado para analisar o fluxo de caixa, e será a frequência com que a opção de troca de produto poderá ser exercida. Na planta hipotética,

esse intervalo será trimestral; o horizonte de avaliação da opção é de cinco anos e após esse período foi considerada uma perpetuidade sem crescimento real, ou seja, os preços sobem com as mesmas taxas da inflação.

Também é preciso identificar o custo de produção da amônia e da ureia. Tanto o custo da amônia quanto o da ureia têm ligação com o preço do gás natural, principal matéria-prima do processo. A empresa Yara Brasil Fertilizantes, grande produtora de fertilizantes, disponibiliza em seu *site* na internet (<http://www.yara.com/tools/cashcost.html>) a fórmula para calcular o custo de produção, ou *cashcost*, da amônia e da ureia. Segundo a empresa, o consumo típico de gás natural para produção de uma tonelada de amônia é de 36 milhões de BTU (*British Thermal Unit* [Unidade Térmica Britânica]). Outros custos de produção somam US\$ 26 por tonelada de amônia. Assim, obtém-se o custo total da produção de uma tonelada de amônia multiplicando o preço do gás natural pela quantidade de GN necessária no processo produtivo (36 mmBTU) e adicionam-se mais US\$ 26, relativos aos demais custos de produção por tonelada.

Então, chega-se ao custo de produção da amônia representado pela fórmula:

$$C_A = 36 \times P_{GN} + 26 \quad [1]$$

em que  $C_A$  é o custo da amônia em US\$/mt; e  $P_{GN}$ , o preço do gás natural em US\$/mmBTU.

Já o processo produtivo da ureia utiliza 0,58 tonelada de amônia, além de mais 5,15 milhões de BTU de gás natural por tonelada de ureia. Há ainda outros custos de produção que montam a US\$ 22 por tonelada de ureia. Dessa forma, definiu-se o custo de produção da ureia em função do preço de mercado da amônia e do gás natural, além dos outros custos adicionais do processo produtivo da planta de ureia.

Elaborou-se, então, a fórmula que será utilizada para o custo de produção da ureia:

$$C_U = 0,58 \times P_A + 5,15 \times P_{GN} + 22 \quad [2]$$

em que:

$C_U$  = o custo da ureia em US\$/mt;

$P_A$  = o preço da amônia em US\$/mt;

$P_{GN}$  = o preço do gás natural em US\$/mmBTU.

Importante notar uma diferença conceitual relevante para o cálculo dos fluxos de caixa entre o presente trabalho e a análise realizada por Dockendorf e Paxson (2009), que utilizam o custo da produção de amônia para compor o custo da ureia. Neste trabalho, considera-se o preço de mercado da amônia na formação do custo de produção da ureia. A motivação para adotar essa metodologia é o fato de não se poder ignorar o custo de oportunidade de negociar a amônia em detrimento de utilizá-la num processo industrial subsequente para produzir outro bem, o que produz grande impacto na avaliação da opção.



Definido o modelo, pode-se definir como será feita a avaliação da planta flexível de fertilizantes, além do valor da opção de troca de produto.

Em primeiro lugar, define-se o caso base como a planta que produz e vende amônia. Em outras palavras, a situação em que o produto final é a amônia.

O fluxo de caixa do caso base no instante  $t$  define-se, então, como:

$$FC_t = Cap_A \times Ut_A \times (P_A - C_A) \times \Delta t \quad [3]$$

em que:

$FC_t$  = fluxo de caixa em  $t$  da planta no caso base em US\$;

$Cap_A$  = capacidade da planta de amônia;

$Ut_A$  = utilização da capacidade da planta de amônia;

$P_A$  = preço da amônia em US\$/mt;

$C_A$  = custo da amônia em US\$/mt;

$\Delta t$  = intervalo de tempo entre os fluxos de caixa em anos.

Em seguida, determinou-se o caso incremental como sendo a planta que produz amônia e que deixa de comercializá-la para utilizá-la como insumo no processo produtivo da ureia. Assim, enquanto no caso base o produto final é a amônia, no caso incremental o produto final é a ureia. O fluxo de caixa do caso incremental é definido conforme a fórmula:

$$FCI_t = Cap_U \times Ut_U \times (P_U - C_U) \times \Delta t \quad [4]$$

em que:

$FCI_t$  = fluxo de caixa em  $t$  da planta no caso incremental em US\$;

$Cap_U$  = capacidade da planta de ureia;

$Ut_U$  = utilização da capacidade da planta de ureia;

$P_U$  = preço da ureia em US\$/mt;

$C_U$  = custo de produção da ureia em US\$/mt;

$\Delta t$  = intervalo de tempo entre os fluxos de caixa em anos.

Por fim, foi estabelecido o valor da opção de troca em determinado instante como o valor máximo entre a receita obtida pela venda de amônia menos a receita proveniente da comercialização de ureia mais os custos adicionais de produzir ureia e zero. Em outras palavras, se o fluxo do valor da opção for maior do que zero, num instante qualquer, significa que a possibilidade de permutar os *outputs* é valiosa.

O fluxo de caixa que será descontado a valor presente para determinar o valor da opção no instante  $t$  será definido da seguinte forma:

$$FCOT_t = [\text{Máximo} (Cap_U \times Ut_U \times (0,58 \times P_A - P_U + OCP_U) \times \Delta t; 0)] \quad [5]$$

em que:

$FCOT_t$  = fluxo de caixa em  $t$  da opção de troca em US\$;

$Cap_U$  = capacidade da planta de ureia;

$Ut_U$  = utilização da capacidade da planta de ureia;

$P_A$  = preço da amônia em US\$/mt;

$P_U$  = preço da ureia em US\$/mt;

$OCP_U$  = custos adicionais decorrentes da produção da ureia em US\$/mt;

$\Delta t$  = intervalo de tempo entre os fluxos de caixa em anos.

Note-se que o fator igual a 0,58 multiplicando o preço da amônia é utilizado para atingir-se a capacidade de produção da planta de amônia, e os custos adicionais da produção da ureia consistem em 5,15 milhões de BTUs por tonelada produzida, mais 22 dólares por tonelada de ureia de outros custos de produção.

### 4.3. Parâmetros da simulação de preços

Utilizaram-se neste trabalho, como já mencionado, dois processos estocásticos distintos – o movimento geométrico browniano e o movimento de reversão à média – que determinarão os preços dos ativos nas simulações.

No caso do MGB, o processo de difusão de preços seguirá a seguinte fórmula:

$$P_t = P_{t-1} \exp \left[ \left( \mu - \pi - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) \Delta t + \sigma N(0,1) \sqrt{\Delta t} \right] \quad [6]$$

em que:

$P_t$  = preço do ativo no instante  $t$ ;

$P_{t-1}$  = preço do ativo com um período de defasagem;

$\mu$  = parâmetro de tendência do ativo;

$\pi$  = prêmio de risco do ativo;

$\sigma$  = parâmetro de volatilidade do ativo;

$\Delta t$  = intervalo de tempo da análise.

Já para o movimento de reversão à média, foi utilizado o modelo 1 de Schwartz (1997), no qual a difusão é no log dos preços. A equação que determina o processo estocástico está descrita a seguir:

$$\ln P_t = \ln P_{t-1} e^{-\eta \Delta t} + (\ln \bar{P} - \lambda) (1 - e^{-\eta \Delta t}) + \sigma \sqrt{\frac{1 - e^{-2\eta \Delta t}}{2\eta}} N(0,1) \quad [7]$$

em que:

$P_t$  = preço do ativo no instante  $t$ ;

$P_{t-1}$  = preço do ativo com um período de defasagem;

$\bar{P}$  = preço de equilíbrio no longo prazo do ativo;

$\lambda$  = prêmio de risco normalizado do ativo;

$\eta$  = parâmetro de velocidade de reversão à média de longo prazo;

$\sigma$  = parâmetro de volatilidade do ativo;

$\Delta t$  = intervalo de tempo da análise.

A obtenção dos parâmetros mencionados acima para a simulação de Monte Carlo, tanto para o MGB quanto para o MRM, parte de uma série de dados de aproximadamente dez anos, de julho de 2004 a dezembro de 2013, dos preços em dólares norte-americanos do gás natural (Henry Hub), amônia (Yuzhnyy) e ureia (Yuzhnyy). Os dados mensais totalizaram 114 observações e foram deflacionados pelo IGP-DI da (Fundação Getulio Vargas [FGV]) para realizar a análise em termos reais.

O gráfico da Figura 4 apresenta a série de preços com duas escalas, para melhor verificar as oscilações comparativamente. No eixo da esquerda está a escala dos preços da amônia e da ureia por tonelada, enquanto no eixo da direita está a escala dos preços do gás natural em milhões de BTUs. Verifica-se notadamente uma queda brusca dos preços entre o final de 2008 e o início de 2009, em decorrência da crise financeira que atingiu todo o mercado. Também se percebe uma queda gradual dos preços do gás natural, que se explica pela viabilização técnica e econômica da tecnologia de extração de gás não convencional, conhecida como *shale gas*, que aumentou a oferta e, conseqüentemente, reduziu os preços da *commodity*.

Sobre esses preços, aplicou-se um teste estatístico, utilizando o programa EViews 7.0 ([www.eviews.com](http://www.eviews.com)), para verificar a existência de raiz unitária. No caso, foi realizado o teste de Dickey-Fuller aumentado na série de log retorno de cada um dos três preços. Na Tabela 1, mostram-se os resultados obtidos no teste.

A rejeição da hipótese de existência da raiz unitária significativa estatisticamente sugere que a dinâmica dos retornos segue um processo estacionário, impossibilitando descartar que os preços seguem um MGB. Schwartz (1997) somente conseguiu rejeitar que os preços de petróleo não seguem um movimento geométrico browniano para séries muito longas, de 120 anos. Apesar de não haver consenso sobre qual processo

Tabela 1

## Resultado do Teste de Dickey-Fuller Aumentado

Teste de Dickey-Fuller Aumentado	Gás Natural	Amônia	Ureia
Estatística T	-4,74	-4,74	-5,77
Avaliação	Não rejeito $H_0$	Não rejeito $H_0$	Não rejeito $H_0$

estocástico utilizar, Bastian-Pinto e Brandão (2007) defendem que há justificativas econômicas para utilização de processos estocásticos de reversão à média.

A partir das séries de preço, foram estabelecidas as correlações existentes entre os log retornos dos ativos. A importância de definir a matriz de correlação é que ela é *input* para a geração correta das simulações. Utilizando-se os valores que constam na Tabela 2, foi aplicada a decomposição de Choleski para gerar as distribuições normais correlacionadas tanto para o caso em que foram utilizadas duas variáveis quanto para as simulações contendo três variáveis que se correlacionam. Dias (2013) dá as diretrizes para realizar a fatoração de Choleski para duas e três variáveis correlacionadas.

Em seguida, foram utilizadas as mesmas séries de preço para definir os parâmetros de *drift* e a volatilidade, que serão utilizados na simulação de preços do MGB.

A estimação desses parâmetros foi feita pela regressão linear dos log retornos. Da equação de regressão, foi obtido o coeficiente de inclinação, que é o *drift* do ativo. E a volatilidade

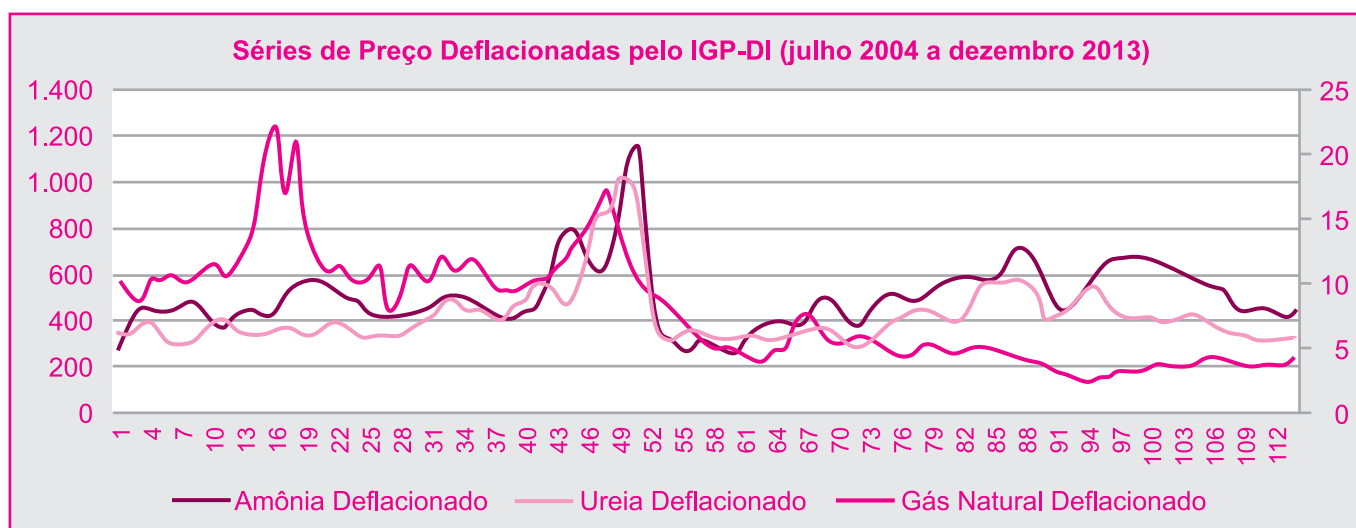


Figura 4: Série Histórica dos Preços Deflacionados

Tabela 2

## Matriz de Correlação dos Log Retornos

Matriz de Correlações	Gás Natural	Amônia	Ureia
Gás Natural	1	-4,58%	9,06%
Amônia	-	1	42,90%
Ureia	-	-	1

é o resultado do erro padrão da regressão. Foi encontrado um valor de *drift*,  $\mu$ , de -9,01% ao ano para o gás natural, 4,4% ao ano para a amônia e -0,75% ao ano para a ureia. Quanto ao parâmetro de volatilidade anual, chegou-se ao  $\sigma_{GN}$  igual a 45,09%,  $\sigma_A$  igual a 48,84% e 39,15% para o  $\sigma_U$ .

Já ao adotar-se o MRM como processo estocástico, os parâmetros de velocidade de reversão, volatilidade e preço de equilíbrio de longo prazo serão necessários. No parâmetro de velocidade de reversão à média de longo prazo,  $\eta$ , chegou-se aos seguintes resultados: 0,3403 para o gás natural, 1,9521 para a amônia e 1,1773 para a ureia.

Quanto ao parâmetro de volatilidade do MRM, foram obtidos  $\sigma_{GN}$  igual a 45,83%,  $\sigma_A$  igual a 51,03% e 40,50% para o  $\sigma_U$ . Os preços de equilíbrio de longo prazo encontrados a partir dos dados acima citados, que serão utilizados na simulação, foram de US\$ 7,14 para o GN, US\$ 530,99 para a amônia e US\$ 432,91 para a ureia. Esses preços de equilíbrio de longo prazo sugerem que os preços atuais dessas *commodities* encontram-se abaixo do preço de longo prazo.

Quanto aos parâmetros de prêmio de risco e prêmio de risco normalizado – medidas que se subtraem do processo para que o retorno na medida neutra ao risco descontado à taxa livre de risco seja igual ao retorno total do ativo –, utiliza-se a mesma abordagem de Ozório *et al.* (2013), que mencionam os trabalhos de Irwin (2003), Brandão e Saraiva (2007), Blank, Baydia e Dias (2009), que também estimaram esses parâmetros como descreve Hull (2006). Os valores desses parâmetros serão apresentados na seção 5.

## 5. ANÁLISE E RESULTADOS

No presente trabalho, o objetivo é avaliar a opção de troca de produto final, amônia ou ureia, no caso. A decisão gerencial pela troca do produto pode ser tomada a cada instante de tempo, independentemente do que ocorreu no período anterior. Verifica-se, com isso, um conjunto de opções europeias, as quais podem ser avaliadas utilizando simulação de Monte Carlo.

Com base nos parâmetros definidos na seção anterior, foi utilizado o *software* @Risk® para rodar dez mil interações a cada nova simulação dos preços que definem o modelo. Serão feitas quatro simulações distintas. Nas duas primeiras, consi-

deraram-se como incertezas os preços da amônia e da ureia, primeiro seguindo um MGB e depois um MRM com processo estocástico. Em seguida, foi incluída no modelo a terceira variável de incerteza e realizaram-se mais duas simulações, segundo os mesmos processos estocásticos das variáveis correlacionadas.

Apesar de as simulações com três variáveis serem mais realistas, já que consideram as incertezas referentes ao principal item de custo do processo produtivo, é importante manter a comparabilidade deste artigo, em termos metodológicos, com o trabalho desenvolvido por Dockendorf e Paxson (2009), que utilizaram apenas duas variáveis de incerteza em seu modelo. Dessa forma, justifica-se a utilização de ambas as abordagens para avaliar o valor da planta.

### 5.1. Simulação com duas variáveis estocásticas assumindo o MGB

Nesta primeira simulação, os preços da amônia e da ureia serão simulados segundo um movimento geométrico browniano e descontada a taxa livre de risco de 4% ao ano. Nesse caso, o prêmio de risco, parâmetro de desconto para a avaliação neutra ao risco, foi de 0,168 para a amônia e 0,139 para a ureia. O valor presente da simulação do período em que se analisa a opção foi de US\$ 0,43 bilhão para o VPFC e o valor presente da perpetuidade, após os cinco anos, montou a US\$ 1,63 bilhões. Somados, esses valores totalizam um valor presente de US\$ 2,06 bilhões que, descontados do investimento de US\$ 550 milhões para planta de fertilizantes que opera para produzir e vender amônia, trazem um valor presente líquido do caso base de US\$ 1,51 bilhões. No caso da planta que opera para produzir ureia, o caso incremental, obtém-se o VPFCI dos primeiros cinco anos igual a US\$ 0,04 bilhão mais um valor presente negativo da perpetuidade após esse período de menos US\$ 0,26 bilhão, que significa um valor presente líquido para o caso incremental negativo de US\$ 0,56 bilhão, após o desconto do investimento incremental de US\$ 340 milhões. Por fim, o valor presente da opção de troca, VPFCOT, totalizou US\$ 0,29 bilhão. Na Figura 5, ilustra-se a distribuição dos resultados da simulação de Monte Carlo e os resultados da avaliação de troca. Na Tabela 3, é apresentado um resumo dos resultados da simulação 1 (duas variáveis – MGB).

### 5.2. Simulação com duas variáveis estocásticas assumindo o MRM

Na segunda simulação, os preços da amônia e da ureia serão simulados segundo um movimento de reversão à média e descontados a taxa livre de risco de 4% ao ano. No caso do processo estocástico de reversão à média, é necessário o prêmio de risco normalizado para realizar a simulação neutra a risco. Esse parâmetro foi, na simulação 2, de 0,47 para a amônia e 0,51 para a ureia.



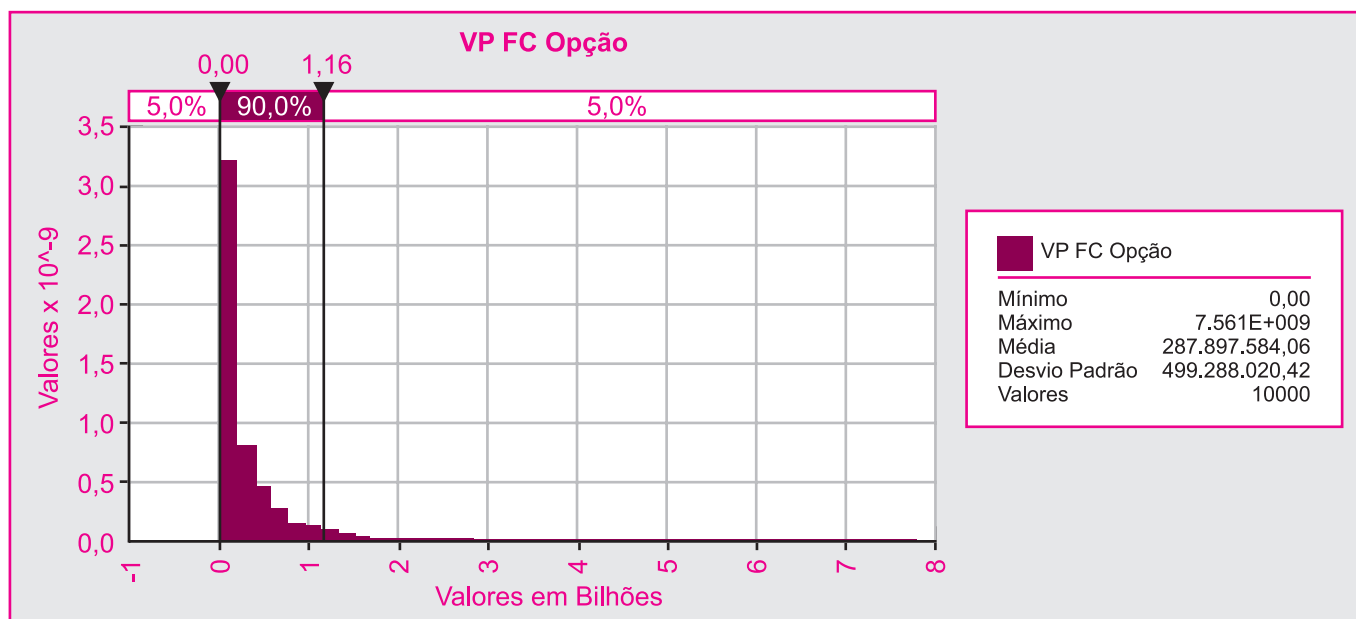


Figura 5: Distribuição dos Resultados da Simulação 1 – Valor Presente da Opção de Troca

Tabela 3

**Resumo dos Resultados da Simulação 1 (Duas Variáveis – MGB)**

	Resultados Simulação 1 (Duas Variáveis – MGB) em US\$ Bilhões			Total
	Caso Base	Caso Incremental	Valor da Opção	
VP	0,43	0,04	0,29	0,76
VP <sub>Perpetuidade</sub>	1,63	-0,26	0,00	1,37
Investimento	0,55	0,34	0,00	0,89
VPL	1,51	-0,56	0,29	1,24

O VPFC, referente ao valor presente da simulação do caso base no período em que se analisa a opção, foi de US\$ 0,52 bilhão e o valor presente da perpetuidade após os cinco anos montou a US\$ 1,65 bilhões, totalizando um valor presente de US\$ 2,16 bilhões que, descontados do investimento de US\$ 550 milhões para a planta de fertilizantes que opera para produzir e vender amônia, trazem um valor presente líquido do caso base de US\$ 1,61 bilhão.

No caso da planta que opera para produzir ureia, o caso incremental que tem investimento inicial de US\$ 340 milhões, obtém-se o VPFCI dos primeiros cinco anos igual a US\$ 0,17 bilhão mais um valor presente da perpetuidade, após esse período, de US\$ 0,65 bilhão, que significa um valor presente líquido estático para o caso incremental de US\$ 0,48 bilhão.

O valor presente da opção de troca, VPFCOT totalizou US\$ 0,08 bilhão. Na Tabela 4 consta o resumo dos resultados da simulação 2 (duas variáveis – MRM).

Tabela 4

**Resumo dos Resultados da Simulação 2 (Duas Variáveis – MRM)**

	Resultados Simulação 2 (Duas Variáveis – MRM) em US\$ Bilhões			Total
	Caso Base	Caso Incremental	Valor da Opção	
VP	0,52	0,17	0,08	0,77
VP <sub>Perpetuidade</sub>	1,65	0,65	0,00	2,30
Investimento	0,55	0,34	0,00	0,89
VPL	1,61	0,48	0,08	2,17

**5.3. Simulação com três variáveis estocásticas assumindo o MGB**

Nas próximas simulações, além dos preços da amônia e da ureia, serão simulados os preços do gás natural segundo um movimento de reversão à média e descontada a taxa livre de risco de 4% ao ano. Dessa forma, confere-se mais complexidade ao modelo, pela inclusão de uma terceira variável correlacionada às duas anteriores; entretanto, aproxima-se a análise da realidade. Novamente, há que se definir o prêmio de

risco para as variáveis do modelo para realizar adequadamente a simulação neutra ao risco. Para o gás natural, neste caso, o prêmio de risco foi de 0,15; para a amônia, de 0,09; e para a ureia, de 0,078.

No primeiro caso com três variáveis, o VPFC, referente ao valor presente da simulação do caso base no período em que se analisa a opção foi de US\$ 0,47 bilhão e o valor presente da perpetuidade após os cinco anos é igual a US\$ 1,89 bilhão, totalizando um valor presente de US\$ 2,36 bilhões que, descontados do investimento de US\$ 550 milhões para planta de fertilizantes que opera para produzir e vender amônia, representam um valor presente líquido do caso base de US\$ 1,81 bilhão.

Em seguida, calculou-se o valor da planta que opera para produzir ureia, caso incremental, que tem investimento inicial de US\$ 340 milhões, com o VPFCI dos primeiros cinco anos igual a US\$ 0,05 bilhão somados a um valor presente negativo da perpetuidade após esse período de US\$ 0,19 bilhão, montando a um valor presente líquido negativo para o caso incremental de US\$ 0,49 bilhão.

O valor presente da opção de troca, VPFCOT, totalizou US\$ 0,21 bilhão. Na Tabela 5, é apresentado um resumo dos resultados da simulação 3 (três variáveis – MGB).

**Tabela 5**

**Resumo dos Resultados da Simulação 3 (Três Variáveis – MGB)**

	Resultados Simulação 3 (Três Variáveis – MGB) em US\$ Bilhões			Total
	Caso Base	Caso Incremental	Valor da Opção	
VP	0,47	0,05	0,21	0,73
VP <sub>Perpetuidade</sub>	1,89	-0,19	0,00	1,70
Investimento	0,55	0,34	0,00	0,89
VPL	1,81	-0,49	0,21	1,53

**5.4. Simulação com três variáveis estocásticas assumindo o MRM**

Neste último caso, foi repetido o caso anterior, porém seguindo um processo estocástico de reversão à média, no qual os prêmios de risco normalizados do gás natural, da amônia e da ureia foram, respectivamente, 0,025; 0,68 e 0,785.

Com isso obtém-se um valor presente líquido da simulação do caso base de US\$ 1,18 bilhão, resultado da soma de um VPFC de US\$ 0,46 bilhão referente ao fluxo dos primeiros cinco anos mais o valor presente da perpetuidade de US\$ 1,27 bilhão menos o investimento inicial de US\$ 550 milhões.

O valor presente líquido do fluxo de caixa incremental foi de US\$ 0,38 bilhão, soma de um valor presente do VPFCI de US\$ 0,16 bilhão mais US\$ 0,56 bilhão de valor presente da perpetuidade trazido à data zero, descontando o valor de investimento de US\$ 340 milhões.

Finalizando a análise, chega-se ao valor da opção de troca de produto da simulação, totalizando US\$ 0,22 bilhão. Na Tabela 6, pode ser visto um resumo dos resultados da simulação 4 (três variáveis – MRM).

**Tabela 6**

**Resumo dos Resultados da Simulação 4 (Três Variáveis – MRM)**

	Resultados Simulação 4 (Três Variáveis – MRM) em US\$ Bilhões			
	Caso Base	Caso Incremental	Valor da Opção	Total
VP	0,46	0,16	0,22	0,83
VP <sub>Perpetuidade</sub>	1,27	0,56	0,00	1,83
Investimento	0,55	0,34	0,00	0,89
VPL	1,18	0,38	0,22	1,77

**5.5. Resultados e análise de sensibilidade**

Os resultados das simulações mostram que o valor presente da opção de troca tende a cair quando o processo estocástico muda do MGB para o MRM. Esse resultado é esperado, pois, conforme Dias (2014), no processo de reversão à média, os preços são mais previsíveis. Como nesse processo estocástico os preços tendem a aproximar-se de um preço de equilíbrio de longo prazo, as condições de exercício da opção são mais restritas.

Quanto às análises de sensibilidade, foi verificado como se comportou o valor da opção de troca em função da alteração de alguns dos parâmetros utilizados nas simulações descritas anteriormente. Verifica-se que as simulações que têm como variáveis a amônia e a ureia (1 e 2) são mais sensíveis a variações da correlação. A outra análise de sensibilidade diz respeito às simulações que têm como processo estocástico o movimento de reversão à média, ou seja, as simulações 2 e 4. Como os valores para os parâmetros de reversão ao preço de equilíbrio de longo prazo da amônia e da ureia são considerados altos, entende-se ser importante avaliar como o valor da opção muda em decorrência da redução gradual desses parâmetros. Verifica-se que à medida que diminui o fator de reversão à média, o valor da opção de troca cresce. Esse resultado era esperado, já que, quando os preços demoram mais para mover-se em direção ao preço de equilíbrio de longo prazo, a opção torna-se mais valiosa.

## 6. CONCLUSÃO

O objetivo neste trabalho foi avaliar a opção de troca de produto final em uma planta flexível de fertilizantes, na qual o gerente pode decidir se a fábrica produzirá amônia ou ureia, utilizando para isso a simulação de Monte Carlo como ferramenta de análise.

Além da relevância na que se refere a testar e proporcionar uma forma mais abrangente e realista do que as técnicas tradicionais de fluxo de caixa descontado, outro motivador da pesquisa foi o artigo de Dockendorf e Paxson (2009), que utilizaram uma metodologia diferente da abordagem seguida neste trabalho, entretanto com o mesmo objetivo – avaliar a opção de troca de produto em uma planta de fertilizantes. Os autores avaliam a opção segundo uma fórmula analítica com os preços seguindo um movimento geométrico browniano, enquanto neste trabalho utilizaram-se dois processos estocásticos distintos – MGB e MRM – com os preços simulados neutros ao risco por simulação de Monte Carlo.

Concluiu-se que a metodologia utilizada é adequada para realizar as análises propostas neste estudo. Em relação aos

resultados das simulações realizadas, verificou-se que a opção de troca de produto é mais valiosa nos casos em que se utilizou o movimento geométrico browniano em relação aos casos em que foi utilizada a reversão à média. Quando se compara o MRM com duas e três variáveis, nota-se que o valor presente da opção de troca é maior com o modelo mais realista, que considera o gás natural como incerteza do negócio.

Também ficou evidenciado, nas análises de sensibilidade à correlação amônia-ureia e ao fator de reversão à média, o grande impacto que esses parâmetros têm sobre o valor da opção.

Quanto às limitações do trabalho e sugestões de pesquisas futuras, destaca-se a exploração de mais processos estocásticos, como MRM com tendência ou MRM com saltos, visto que não há unanimidade sobre qual processo é mais adequado. Outra oportunidade de pesquisa seria propor uma superfície de preços que definiriam o *timing* da troca do *output*, que é de grande valia para o gestor. Por fim, outra sugestão é aumentar a complexidade dos modelos pela inclusão de limitações de produção, como um *mix* mínimo de comercialização de um ou outro produto, adoção do custo da troca de modo operacional e outros custos não considerados neste trabalho. ♦

## REFERÊNCIAS

- Bastian-Pinto, C., & Brandão, L. (2007). Modelando opções de conversão com movimentos de reversão à média. *Revista Brasileira de Finanças*, 5(2), 10-40.
- Bastian-Pinto, C. L., Brandão, L. E. T., & Alves, M. L. (2010). Valuing the switching flexibility of the ethanol-gas flex fuel car. *Annals of Operation Research*, 176(1), 333-348.
- Blank, F. F., Baydia, T. K. N., & Dias, M. A. (2009). Real options in public private partnership – Case of a toll road concession. *Proceedings of the Annual International Conference on Real Options*. Minho, Portugal & Santiago de Compostela, Spain, 13. Recuperado em 25 fevereiro, 2014, de <http://www.realoptions.org/papers2009/37.pdf>
- Brandão, L. E. T., & Saraiva, E. C. G. (2007). Risco privado em infraestrutura pública: Uma análise quantitativa de risco como ferramenta de modelagem de contratos. *Revista de Administração Pública – RAP*, 41(6), 1035-1067.
- Brandão, L. E. T., Penedo, G. M., & Bastian-Pinto, C. L. (2013). The value of switching inputs in a biodiesel production plant. *European Journal of Finance*, 19(7-8), 674-688.  
DOI: 10.1080/1351847X.2011.607005
- Brasil, H. G., Aronne, A., & Rajão, A. (2011). Valuation of the options to verticalize and expand a carbonatite mine. *Proceedings of the Annual International Conference on Real Options*. Turku, Finland, 15.
- Dias, M. A. G. (2013). Notas de aula [Curso de Análise de investimentos com opções reais – Módulo II]. Rio de Janeiro: Universidade Corporativa da Petrobras.
- Dias, M. A. G. (2014). *Análise de investimentos com opções reais: Teoria e prática com aplicações em petróleo e em outros setores* (vol. 1). Rio de Janeiro: Interciência.
- Dockendorf, J., & Paxson, D. (2009, June). Continuous rainbow options on commodity outputs: what is the value of switching facilities? *Proceedings of the Annual International Conference on Real Options*. Minho, Portugal & Santiago de Compostela, Spain, 13. Recuperado em 25 fevereiro, 2014, de <http://www.realoptions.org/papers2009/19.pdf>
- Hull, J. C. (2006). *Options, futures, and other derivatives securities* (6th ed.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- International Fertilizer Industry Association (IFA). (2014). Paris, France. Recuperado em 25 fevereiro, 2014, de <http://www.fertilizer.org>
- Irwin, T. (2003, July). *Public money for private infrastructure*. Working Paper, n.10. Washington, DC: The World Bank.
- Ozório, L. M., Bastian-Pinto, C. L., Baidya, T. K. N., & Brandão, L. E. T. (2013). Investment decision in integrated steel plants under uncertainty. *International Review of Financial Analysis*, 27, pp.55-64.  
DOI: 10.1016/j.irfa.2012.06.003
- Schwartz, E. S. (1997). The stochastic behavior of commodity prices: Implications for valuation and hedging. *The Journal of Finance*, 52(3), 923-973.  
DOI: 10.2307/2329512
- Wang, Z., & Li, L. (2010). Valuation of the flexibility in decision-making for revamping installations: A case from fertilizer plants. *Petroleum Science*, 7(3), 428-434.  
DOI: 10.1007/s12182-010-0089-6

ABSTRACT

**Product switch option in the fertilizer industry**

Fertilizers are extremely important to agricultural production worldwide due to the productivity improvements they allow. This paper uses the real options theory to evaluate the product switch option, ammonia or urea, in a nitrogen fertilizer plant. The Monte Carlo simulation method was used to define the value of the switch option in a fertilizer plant where the uncertainties considered are the prices of natural gas (main raw material), ammonia and urea, assuming that all of them follow a mean reversion movement (MRM). The results show that this option is relevant in the project analysis of fertilizer plants, and its consideration to the feasibility project can be considered as essential in many cases.

**Keywords:** Monte Carlo simulation, fertilizers, switch option, real options, ammonia, stochastic, mean reversion model.

RESUMEN

**Opción de cambio de producto en la industria de fertilizantes**

Los fertilizantes son muy importantes para la producción agrícola mundial debido a la mejora en productividad que proporcionan. En este artículo se utiliza la teoría de opciones reales para evaluar la opción de cambio de producto final, amoníaco o urea, en una planta de fertilizantes nitrogenados. El método de simulación de Monte Carlo fue aplicado para determinar el valor de la opción de cambio en la planta, considerando la incertidumbre en los precios del gas natural (principal materia prima), amoníaco y urea, y en el supuesto de que los mismos siguieran un proceso de reversión a la media. Los resultados indican que esta opción es relevante en el análisis de proyectos de plantas de fertilizantes y que, en muchos casos, tenerla en cuenta puede ser fundamental para la viabilidad del proyecto.

**Palabras clave:** simulación de Monte Carlo, fertilizantes, opción de cambio, opciones reales, amoníaco, proceso estocástico, proceso de reversión a la media.

**inspiração**

**A administração eficaz  
concretiza-se em ações,  
mas começa com ideias.**

*A Rausp está voltada à disseminação de pesquisas e idéias que agreguem valor ao trabalho de acadêmicos e praticantes de Administração.*

**Assine a Rausp**

Para informações ligue

(11) 3091-5922 ou 3818-4002

e-mail: [rausp@usp.br](mailto:rausp@usp.br)

[www.rausp.usp.br](http://www.rausp.usp.br)