



Munich Personal RePEc Archive

Flexibility effect on the investment decision: An application to the exploration of copper

Gomes Santana Félix, Elisabete and Esperança, José Paulo

Universidade de Évora, Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa

2004

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/6185/>
MPRA Paper No. 6185, posted 09 Dec 2007 08:30 UTC

**“EFEITO DA FLEXIBILIDADE NA DECISÃO DE INVESTIMENTO: UMA APLICAÇÃO À
EXPLORAÇÃO DO COBRE”**

**“FLEXIBILITY EFFECT ON THE INVESTMENT DECISION: AN APPLICATION TO THE
EXPLORATION OF COPPER”**

Elisabete Gomes Santana Félix
efelix@uevora.pt

José Paulo Esperança
jose.esperanca@iscte.pt

Elisabete Gomes Santana Félix, Assistente do Departamento de Gestão de Empresas da Universidade de Évora. Doutoranda em Gestão no ISCTE na Especialização em Finanças. efelix@uevora.pt. telef.: 266740892. Universidade de Évora, Departamento de Gestão de Empresas, Largo dos Colegiais, nº 2, 7000-803 Évora, Portugal.

Elisabete Gomes Santana Félix, Assistant of the Management School of the University of Évora. PhD student in Management in the ISCTE in the specialization of Finances. efelix@uevora.pt. telef.: 266740892. Universidade de Évora, Departamento de Gestão de Empresas, Largo dos Colegiais, n.º 2, 7000-803 Évora, Portugal.

José Paulo Esperança, Professor Associado do Departamento de Ciências de Gestão do Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa (ISCTE). jose.esperanca@uevora.pt. telef.: 217935000. ISCTE, Av. das Forças Armadas, 1649-026 Lisboa, Portugal.

José Paulo Esperança, Associated Professor of the Department of Sciences of Management of the Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa (ISCTE). jose.esperanca@iscte.pt. telef.: 217935000. ISCTE, Av. das Forças Armadas, 1649-026 Lisboa, Portugal.

“EFEITO DA FLEXIBILIDADE NA DECISÃO DE INVESTIMENTO: UMA APLICAÇÃO À EXPLORAÇÃO DO COBRE”

RESUMO

Este estudo evidencia o valor da flexibilidade na decisão de investimento, no sector da extracção de cobre, face à existência de uma opção de abandono.

São comparados os resultados de três modelos de avaliação: o Valor Actual Líquido; o Binomial e o Binomial Adaptado ao sector da exploração de cobre. Foram utilizadas cotações mensais do cobre do LME; valores para o Producers Price Index; e valores de uma OT-Setembro com maturidade mais próxima do horizonte temporal do investimento.

À semelhança de outras aplicações das opções reais, confirmamos que, em contexto de incerteza, o método tradicional subavalia significativamente o retorno das decisões de investimento.

PALAVRAS-CHAVE: Flexibilidade na Decisão de Investimento; Opções Reais; Sector de Exploração do Cobre; Exploração de Recursos Naturais; Métodos de Avaliação de Investimentos.

JEL Classification: G13; G31; G39.

“FLEXIBILITY EFFECT ON THE INVESTMENT DECISION: AN APPLICATION TO THE EXPLORATION OF COPPER”

ABSTRACT

This research evidences the value of flexibility on the investment decision, in the exploration sector of copper, face to the existence of an abandonment option.

The results of three evaluation models are compared: the Net Present Value; the Binomial and a Suitable Binomial to the exploration sector of copper. Monthly quotations of copper of the LME had been used; values for the Producers Price Index; e values of OT-September with maturity nearest to the time horizon of the investment. To the similarity of other applications of the real options, we confirm that, in uncertainty context, the traditional method significantly understates the return of the investment decisions.

KEY WORDS: Flexibility on the Investment Decision; Real Options; Exploration Sector of Copper; Natural Resources Exploration; Evaluation Methods of Investments.

JEL Classification: G13; G31; G39.

“EFEITO DA FLEXIBILIDADE NA DECISÃO DE INVESTIMENTO: UMA APLICAÇÃO À EXPLORAÇÃO DO COBRE”

Setembro de 2003

1. INTRODUÇÃO

Muitas decisões de investimento têm uma natureza sequencial, ou seja, a decisão de investimento inicial é influenciada pelas oportunidades e decisões ulteriores, não devendo ser avaliada em separado. No entanto, ao contrário da formulação tradicional das árvores de decisão, (Magee, 1964), as restantes decisões de investimento deverão ser tomadas à posteriori, em função do conhecimento dos estados da natureza que afectam o investimento.

Por via dessa informação o decisor poderá alterar os seus programas de investimento de forma a maximizar o valor da empresa e a sua riqueza.

O decisor pode, em qualquer momento, alterar decisões de investimento, mesmo as que já haviam sido tomadas. Assim, esse decisor poderá abandonar um investimento que já começou a implementar; poderá decidir o aumento da capacidade produtiva; ou muito simplesmente, em função das condições de mercado no momento, ele poderá decidir que o melhor é adiar esse investimento e posteriormente, quando as condições de mercado o justificarem, reiniciar a realização do investimento.

Estas oportunidades fazem parte de um vasto leque de decisões em contexto de incerteza, associadas a investimentos em activos reais denominadas opções reais, por contraponto com as opções financeiras, cujos activos subjacentes são financeiros. Essas opções reais permitem ao decisor aumentar o valor da decisão de investimento, minimizando custos ou maximizando nichos de lucro.

A identificação e avaliação deste tipo de opções está ainda na sua infância criando um vazio face à inadequação dos métodos tradicionais de avaliação de investimentos para captar a sua existência. Na medida em que restringem a decisão de investimento ao momento inicial, os métodos tradicionais ignoram o valor das opções associadas às diversas fases da vida de um projecto.

O critério fundamental de apoio à decisão de investimento – sugerindo a aceitação de projectos em que $VAL > 0$, pode não ser válida e conduzir a decisões sub-óptimas ou erradas. Buckley (1996) sugere a seguinte correcção à regra do VAL: $VAL + VO_I > VO_0$, em que VO_I representa o valor das opções ex post, posterior à realização do investimento e VO_0 mede o valor da flexibilidade ex ante, anterior à realização do investimento, associada ao valor do potencial de adiamento do investimento.

A analogia entre as opções reais e financeiras tem servido de base aos esforços pioneiros de avaliação de opções reais.

A adição do valor das opções reais torna, ou aumenta, por vezes substancialmente o valor da decisão de investimento, face ao apurado pelo método do VAL.

O presente estudo debruça-se sobre o recente tema da área financeira e efectua uma aplicação do problema da flexibilidade e da sua avaliação aos investimentos na área da exploração do minério de cobre, uma actividade onde se encontra um conjunto relevante de opções reais.

Com base em informação facultada por uma empresa especializada na extracção de cobre; estatísticas referentes a cotações de cobre; e dados do PPI-*Producers Price Index*, demonstra-se: que os tradicionais métodos de avaliação de investimentos subvalorizam os investimentos com opções reais associadas; e que a valorização de opções financeiras torna mais rigorosa a avaliação dos investimentos respectivos.

2. REVISÃO DE LITERATURA E HIPÓTESES

2.1. REVISÃO DE LITERATURA

Kensinger (1987) e Trigeorgis e Mason (1987) propõem uma tipologia que apoia a classificação das opções reais:

- opção de fechar temporariamente, ou abandonar por completo um projecto, caso os acontecimentos sejam desfavoráveis à continuação do mesmo;
- opções para redistribuir activos para novos usos, à medida que o ambiente de negócio sofra mutações;
- opções para o futuro crescimento, crescimento esse que poderá surgir de actividades correntes;

- o acto de planeamento contingencial, dado que o objectivo desse planeamento é criar e gerir uma carteira de opções reais estratégicas.
- opção de adiar o investimento;
- opção de expansão;
- opção para contrair.

Dos sete tipos de opções reais apresentadas apenas se vai explorar a Opção de Abandono, objecto do presente estudo.

Trigeorgis (1996), propõe ainda uma subdivisão deste tipo de opção: Opção de Desistência Quando a Construção Estiver em Curso e Opção de Abandono pelo Valor Residual.

No primeiro caso a opção pode acontecer quando o investimento é fraccionado, ou seja, as despesas necessárias para o realizar não são todas concentradas num só período e, assim, em qualquer momento, se poderá desistir de continuar com o mesmo, gerando um tipo de Opções sobre Opções (Compound Options).

No segundo caso, encontramos-nos perante a situação de pura e simplesmente se achar mais proveitoso desistir por completo do projecto, economizando o montante referente às despesas de investimento ainda por realizar.

Opção para Desistir quando a construção estiver em curso: Na grande maioria dos projectos, o investimento necessário não se concentra numa única despesa inicial. Esta situação específica, de projectos de investimento com despesas de investimento fraccionadas ao longo do horizonte temporal, cria valiosas opções para desistir do mesmo em qualquer fase. Por exemplo, no caso da exploração de reservas de petróleo as reservas ou os preços do petróleo podem tornar-se tão baixos que não justificam a continuação desse tipo de investimento.

Desta forma, cada fase do investimento em questão pode ser vista como uma opção sobre o valor das subseqüentes fases, ao requerer o suporte de despesas necessárias para prosseguir para a etapa seguinte e pode assim, ser avaliada de forma semelhante a opções sobre opções.

Opção para Abandonar pelo Valor Residual: Quando a fase de exploração se tornar deficitária, a administração não necessita de continuar a incorrer com os respectivos

custos fixos. Nesta situação, ela poderá possuir uma valiosa opção de abandono por completo do investimento, em troca do seu valor residual encontrado no mercado secundário através do preço de revenda dos equipamentos e/ou outros activos afectos ao investimento.

Esta opção pode ser valorizada como sendo uma opção de venda americana sobre o valor actual do projecto (V), com preço de exercício igual ao valor residual, ou então outro melhor valor alternativo de utilização (A), dando assim, o direito à direcção de receber $V + \max(A - V, 0)$ ou $\max(V, A)$.

Uma primeira aproximação ao cálculo do valor deste tipo de opção de abandono foi efectuado por Robichek e VanHorne (1967). Estes autores reconhecem a importância de se lidar explicitamente com a oportunidade de abandono e defendem a sua inclusão, sob a forma de uma contingência, na previsão dos meios libertos líquidos utilizados para calcular o Valor Actual Líquido do projecto ou a Taxa Interna de Rendibilidade do mesmo.

Bonini (1977) procedeu à aplicação da metodologia de Programação Dinâmica ao mesmo problema. No entanto, ao contrário dos modelos alternativos de valorização de opções, a programação dinâmica requer uma articulação explícita de todos os possíveis resultados, tornando a respectiva estimação muito complicada.

Kensinger (1980) apresenta um artigo, em que procede à aplicação de uma modificação do Modelo de Valorização de Opções de Black-Scholes, para criar um modelo de valor do que poderá ser chamado de “Opção de Venda de Abandono”, isto é, a opção para vender os activos de um projecto ao seu valor de mercado, valor esse incerto no início do projecto. Deter a opção de abandonar um projecto - cortando as perdas e recuperando parte do investimento inicial através da venda dos activos do projecto - é como possuir uma apólice de seguros que nos reembolsa, caso a performance do projecto desça abaixo do par. Esta “apólice real”, como uma apólice de seguros, possui valor; tal como a presença desta opção no valor actual do projecto.

A aplicação da sua proposta é limitada na medida em que considerou a opção de abandono como uma opção europeia, que só poderá ser exercida na data de maturidade do contrato.

Myers e Majd (1985) procederam a uma melhoria da aproximação de valorização de opções avançada por Kensinger (1980), tratando a opção de abandono como uma opção de venda americana, a qual já pode ser exercida em qualquer altura até à duração do contrato.

Pode-se concluir que, como nos dizem Brealey e Myers (op. cit.), a opção de abandono de um projecto proporciona um seguro parcial contra o fracasso do projecto. Ela é formalmente equivalente a uma opção de venda americana, cujo preço de exercício é o valor de liquidação dos activos do projecto se vendidos ou desviados para uma melhor utilização (ou seja o seu valor residual).

2.2. HIPÓTESES

Pretende-se estudar a hipótese da aplicação da avaliação de opções reais na exploração de cobre. Na medida em que a empresa já se encontrava aberta e em exploração a única alternativa que se apresentou era o estudo da hipótese de fecho permanente da mina, portanto a de abandono da mesma findo determinado horizonte temporal.

A opção em estudo é a opção de abandono da mina. Pretende-se proceder à comparação dos resultados obtidos com os três métodos propostos, na expectativa de se chegar à conclusão de que, de facto, o tradicional critério dos Meios Libertos Líquidos Descontados e do VAL não consegue captar convenientemente o valor de projectos de investimento que possuem associadas opções reais.

3. METODOLOGIAS

No presente estudo, em que se considera o sector da exploração mineira de cobre, pretendeu-se comparar as diferentes decisões e valores alcançados com a utilização do tradicional Método do Valor Actual Líquido; com o Modelo Binomial; e com o Modelo Binomial adaptado por Moyen et. al. (1996), quando é colocada a hipótese de abandono da mina.

A. O Método do Valor Actual Líquido

Para o método do Valor Actual Líquido foi utilizada a tradicional fórmula de cálculo, com a integração de alguns conceitos avançados por Rappaport (1986) para a avaliação

de empresas. Pretendeu-se apurar com o VAL o valor actual da mina para diferentes horizontes temporais. A fórmula utilizada foi a seguinte:

$$VAL = - \sum_{t=0}^T \frac{I_t}{(1+i)^t} + \sum_{t=0}^T \frac{ML_t}{(1+i)^t} + \frac{Vr}{(1+i)^T} \quad [1]$$

Em que: *VAL*, Valor Actual Líquido do investimento para o momento zero, de tomada da decisão; *I_t*, Despesas totais de capital necessárias para a realização do investimento, cadenciadas pelo horizonte temporal de análise, no período em que se verifiquem; *ML_t*, Meios libertos do investimento ao longo do horizonte temporal; *Vr*, Valor residual do investimento verificado no momento T, no final do horizonte temporal; *T*, Último período que finaliza o horizonte temporal para a análise; *t*, Período dentro do horizonte temporal em que se verifica a ocorrência do fluxo em questão; *i*, Custo de oportunidade do capital, para a avaliação do investimento.

B. O Modelo Binomial

Na aplicação do Modelo Binomial foram utilizadas as fórmulas de avaliação de uma opção de venda americana na hipótese de não distribuição de dividendos. Porque neste estudo só se procedeu à avaliação da hipótese de abandono de uma mina de cobre ao fim de 15, 17 e 19 anos, esta opção é equivalente a uma opção de venda americana. Trata-se de uma opção de venda porque se pretende abandonar os direitos da exploração da mina e americana em vez de europeia, porque a ocorrência do fecho da mina poderá acontecer ao longo do horizonte temporal em qualquer momento que se verifique ser vantajosamente favorável e não apenas no final do horizonte temporal.

Foram utilizadas as seguintes fórmulas:

- Para projectar as cotações do minério e os custos operacionais unitários associados à exploração do mesmo minério, recorreu-se à fórmula de evolução, segundo um processo binomial dos preços dos activos subjacentes (no presente caso, as reservas do minério):

$$S_{i,j} \begin{cases} S_{i+1,j+1} = e^u \cdot S_{i,j} \\ ou \\ S_{i+1,j} = e^d \cdot S_{i,j} \end{cases} \quad [2]$$

com u e d iguais a:

$$u = \sigma \cdot \sqrt{\tau/n} \quad d = -\sigma \cdot \sqrt{\tau/n} \quad [3 e 4]$$

- Para determinar o valor da mina, no final do horizonte temporal, foram utilizadas as fórmulas para a avaliação do valor da opção de venda americana:

$$P_{n,j} = \max(0; X - S_{n,j}) \quad j = 0, 1, \dots, n \quad [5]$$

- Para valorizar a mina em cada momento de decisão, ao longo do horizonte temporal, recorreu-se às fórmulas recursivas de cálculo do valor da opção de venda americana ao longo da sua vida:

$$P_{i,j} = \max \left\{ X - S_{i,j}, e^{-r \cdot \tau/n} \cdot [\phi \cdot P_{i+1,j+1} + (1-\phi) \cdot P_{i+1,j}] \right\} \quad [6]$$

em que ϕ é calculado da seguinte forma:

$$\phi = \frac{e^{r \cdot \tau/n} - e^d}{e^u - e^d} \quad [7]$$

As variáveis aqui utilizadas possuem a seguinte interpretação: ϕ , Probabilidade da cotação do minério variar favoravelmente entre dois períodos de tempo consecutivos; $i = 0, 1, \dots, n$ e $j = 0, 1, \dots, i$; I , Ordem do período de tempo considerado; J , Número de variações percentuais favoráveis, registadas pelo activo subjacente; U , Variação percentual favorável estimada para o activo subjacente, entre dois períodos de tempo consecutivos; d , Variação percentual desfavorável estimada para o activo subjacente, entre dois períodos de tempo consecutivos; $S_{i,j}$, Cotação estimada para o activo subjacente, no período de tempo “ $t+i \cdot \tau/n$ ” e para o cenário de ocorrência de “ j ” variações percentuais favoráveis; n , Número de períodos em que se subdivide o

intervalo de tempo “ τ ”. Quanto maior for “ n ”, maior será o grau de precisão associado à estimativa do valor da opção fornecida pelo modelo binomial; r , Taxa de juro instantânea anual sem risco; σ , Desvio padrão anual da taxa de rendimento para o activo subjacente; τ , Tempo em falta para a maturidade da opção de abandono; X , Preço de exercício da opção de abandono, que corresponde ao valor da mina no fim do horizonte temporal; $P_{n,j}$, Valor de uma opção de venda americana no vencimento da opção – período de ordem “ n ” - e para um cenário de “ j ” variações percentuais favoráveis ao nível de “ S ”.

C. O Modelo Binomial Adaptado

O Modelo Binomial Adaptado por Moyen et. al. (op. cit.) do Modelo Binomial de Cox et. al. (1979) à exploração mineira apresenta-se da forma seguinte.

Os autores começam por assumir que os preços evoluíam segundo o seguinte processo:

$$p_{t+1} = (1 + \alpha_p) p_t + \sigma_p p_t \varepsilon_{p_t} \quad [8]$$

O processo binomial dessa cotação do minério é o seguinte:

$$p_{t+1} = p_t \left(1 + \alpha \frac{\tau}{N} + \sigma \sqrt{\frac{\tau}{N}} \varepsilon_{t+1} \right) \quad [9]$$

em que: p_t , Preço do minério no momento t ; α e σ , Média e volatilidade da variação percentual em p_t , estimadas através dos dados; ε_{t+1} , Variável aleatória que toma um dos valores +1 ou -1 com igual probabilidade. Quando assumir o valor 1 o preço evoluiu para cima e se assumir o valor -1 o preço evoluiu para baixo; τ , Número de anos de vida do projecto; N , Número de passos no tempo ao longo do horizonte temporal em análise; t , Período, com $t = 1, \dots, N$.

Com o intuito de se alcançar o valor da mina recorre-se à seguinte expressão:

$$v(p_t, t, 1) = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} -K_{close} + \frac{1}{1+r} E \left[v(p_{t+1}, t+1, 0) \right], \\ C_t + \frac{1}{1+r} E \left[v(p_{t+1}, t+1, 1) \right] \end{array} \right\} \quad [10]$$

em que: $v(p_t, t, u)$, Valor da mina no momento t e no estado (p_t, u) . Se o u assumir o valor 1 isso indica que a mina está actualmente aberta, se o u assumir o valor 0 a mina encontra-se fechada; r , Taxa de juro sem risco; E , Operador de expectativa condicional ao estado; K_{close} , Custos associados ao fecho da mina; C_t , Cash-flows das operações após impostos no período t .

A condição limite é que o pagamento após a data terminal assume o valor zero:

$$v(p_{T+1}, T+1, 0) = v(p_{T+1}, T+1, 1) = 0 \quad [11]$$

Pressupõe-se que os cash-flows eram obtidos através da seguinte relação:

$$C_t = (p_t - c_t)(1 - tax)q \frac{\tau}{N} \quad [12]$$

em que: c_t , Custo operacional actual; q , Output anual (que se assume ser constante); tax , Taxa sobre os lucros; C_t , Cash-flows da empresa; τ , Número de anos de vida do projecto; N , Número de passos no tempo ao longo do horizonte temporal em análise; t , Período, com $t = 1, \dots, N$; p_t , Preço do minério no momento t .

Para o cálculo do VAL associada à mina, assumindo processos binomiais, o mesmo é obtido da seguinte forma:

pressupõe-se que o gestor apenas toma decisões no início do período, $t=0$. Assim, em $t=0$, se o estado actual da mina for fechada:

$$npv(p_0, 0, 0) = Max \left[0, -K_{open} + \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} - \frac{1}{(1+r)^T} K_{close} \right] \quad [13]$$

e se o estado for aberta, o VAL é:

$$npv(p_0, 0, 1) = Max \left[-K_{close}, \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} - \frac{1}{(1+r)^T} K_{close} \right] \quad [14]$$

em que: p_0 , Cotação inicial do minério; K_{close} , Custos de fecho da mina; K_{open} , Custos de abertura da mina; C_t , Cash-flows no momento t ; r , Taxa de juro sem risco; T , Limite do horizonte temporal; t , Período em que nos encontramos no horizonte temporal; $npv(p_0, 0,$

0), VAL com a cotação inicial, no período 0 e no estado de fechada; $npv(p_0, 0, I)$, VAL com a cotação inicial, no período 0 e no estado de aberta.

4. DADOS

Em função dos modelos utilizados, foram necessários os seguintes dados:

1. uma série de cotações do minério para se proceder à estimação da volatilidade anual das suas variações. Foram utilizadas as cotações de fecho mensais do LME (London Metal Exchange), expressas em cêntimos por libra, de uma série dos anos de 1980 a 1998;
2. uma série mensal do deflator americano para o mesmo período. Foi utilizado o PPI- Producers Price Index, o índice normalmente utilizado nas análises em que o principal interessado é uma empresa produtora. Esta série é necessária para deflacionar as cotações;
3. uma Obrigação do Tesouro-OT, com a maturidade mais próxima da data limite do horizonte temporal. O objectivo era a obtenção da sua YTM-Yield to Maturity, que será a taxa de juro sem risco a utilizar na avaliação;
4. o prémio de risco avançado pelo mercado para este tipo de indústria, para se proceder às devidas correcções na taxa de juro sem risco;
5. a estimativa dos custos de encerramento da mina;
6. informação respeitante a despesas de investimento global; a custos operacionais; cash-flows da mina em análise; e da taxa de imposto sobre o rendimento;
7. a quantidade de minério extraída e vendida e suas expectativas para o futuro. Recorreu-se a um só valor e admite-se que o mesmo se mantém constante para a simplificação dos modelos e cálculos.

5. RESULTADOS EMPÍRICOS

Para cada um dos métodos foram analisadas algumas variações a determinadas variáveis consideradas como podendo vir a influenciar o valor alcançável.

A. Método do Valor Actual Líquido

Procedeu-se ao cálculo do valor do investimento, com recurso a este método para diferentes valores das variáveis: custo de oportunidade do capital; valor residual; meios libertos líquidos; horizonte temporal da análise.

Com respeito ao Custo de Oportunidade do Capital, colocaram-se dois possíveis valores. O primeiro dos valores, de 5,06%, foi encontrado através do cálculo da YTM - Yield to Maturity da Obrigação do Tesouro (OT's) de Setembro, com uma taxa de cupão anual de 5,45%, maturidade de 1998 a 2013 e tendo por base a cotação de fecho do dia 02 de Setembro de 1998. A fórmula de cálculo da YTM utilizada foi a seguinte (Barreto, 1991):

$$P = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+YTM)^t} + \frac{VR}{(1+YTM)^n} \quad [15]$$

em que: P , Preço da obrigação; C_t , Juro do cupão no período t ; VR , Valor de reembolso; t , Períodos sucessivos $t = 1, 2, \dots, n$; n , Número de períodos até à maturidade; YTM , Taxa de rendimento até à maturidade.

Esta taxa para um investimento deste tipo seria muito baixa. No entanto, como se pretende comparar os valores para o investimento entre diferentes metodologias terão que se encontrar alguns termos de comparação, um deles é o valor utilizado como taxa de actualização, daí ter-se calculado o VAL com base numa taxa tão reduzida.

Para a inclusão do risco da indústria na taxa de actualização utilizou-se a taxa de 18,13%. Esta taxa foi encontrada através do recurso às fórmulas da teoria do CAPM para o cálculo da rendibilidade associada a determinado investimento (Brealey e Myers, 1998):

$$r_i = r_f + \beta (r_m - r_f) \quad [16]$$

em que: r_i , Rendibilidade do investimento em análise; r_f , Rendibilidade de um título sem risco, também apelidado de rendimento fixo; r_m , Rendibilidade de mercado; $r_m - r_f$, Prémio de risco; β , Beta do investimento em relação ao mercado.

A taxa de rendibilidade do título de rendimento fixo foi considerada como sendo a YTM da OT de Setembro de 1998, já calculada anteriormente; o Beta da indústria extractiva mineira, cujos níveis estimados históricos sempre rondaram e continuam a rondar em média 1 (Moyen et. al., op. cit.), foi considerado com esse mesmo valor; por fim, o prémio de risco assumiu valores de 13% (Brealey e Myers, op. cit.), que é o considerado para empresas deste tipo.

Para o Valor Residual foram admitidos três valores:

- $V_r = 0$ - considerado com a intenção de traduzir a possibilidade de, aquando do abandono da empresa a mesma não possuir qualquer valor de mercado. Isto porque, neste sector, muito dificilmente os equipamentos, com ainda algum tempo de vida útil, poderiam ter valor residual positivo, face à sua especificidade;
- $V_r = - 2.440.992 \text{ Euros}$ - neste caso considerou-se a hipótese de o valor residual assumir valores negativos, mais especificamente o valor que foi aproximadamente estimado como sendo o adequado aos custos associados com o encerramento da mina. É que no caso da exploração mineira, quando se coloca a hipótese de abandonar a mina existem questões muito importantes a ser ponderadas, incluindo de ordem ambiental e ordem social. Trata-se dos problemas associados aos terrenos em que a mina está instalada e portanto, com o “buraco” que a mesma foi fazendo e que não poderá ficar aberto; bem como o depósito dos rejeitados, que é feito numa barragem criada para o efeito e que necessita de ser controlada, mesmo quando a mina for encerrada. Por outro lado existe a questão associada à quantidade de trabalhadores que se encontram a trabalhar na mina, que ficarão sem o seu local de trabalho e com bastante dificuldade de encontrar outro semelhante, resultando nas indemnizações, para além do grave problema social que se colocará na região em questão.

Desta forma, com todos estes custos associados ao fecho da mina, o valor que a mesma possuirá nesse momento poderá vir a ser um valor bastante negativo, principalmente se a mesma não se tiver precavido em termos contabilísticos e financeiros para esses eventuais encargos, isto através da criação de Provisões específicas, situação já fiscalmente aceite.

- Valor residual que dependerá dos valores dos meios libertos no final do horizonte temporal, socorrendo-se das teorias de Rappaport (op. cit.) para a avaliação de empresas.

Dos métodos conhecidos para determinação do valor residual optou-se por utilizar o Método das Perpetuidades, o mais utilizado. Este método refere-nos que o valor residual de uma empresa deverá ser calculado da seguinte forma:

$$Vr = \frac{CF_{perpétuo}}{ck} \quad [17]$$

em que: $CF_{perpétuo}$, Cash-flow do último ano do horizonte temporal em análise; Ck , Custo do capital; Vr , Valor residual do investimento.

Nesta metodologia de cálculo do valor residual pressupõem-se que a empresa permanecerá a laborar para além do horizonte temporal e a taxas operacionais constantes. Na situação em análise esta pressuposição não será das melhores, somente se se chegar à conclusão de que a mina não deverá fechar e sim permanecer em funcionamento.

Os Meios Libertos Líquidos foram calculados de duas formas. Uma delas foi com o recurso aos cash-flows determinados pela empresa; outra foi o seu cálculo através da seguinte fórmula:

$$MLL = RL + Ar.ex. + Prov.ex. + EF - ICC \quad [18]$$

em que: MLL , Meios Libertos Líquidos; RL , Resultados Líquidos do Exercício; $Ar.ex.$, Amortizações e Reintegrações do Exercício; $Prov.ex.$, Provisões do Exercício; EF , Encargos Financeiros do Exercício; ICC , Investimento em Capital Circulante.

Quaisquer destes meios libertos foram projectados para o horizonte temporal analisado, com o recurso a taxas de crescimento médias e geométricas, calculadas com base nos valores passados e projectados, conforme algumas das políticas internas da empresa. Estes cálculos tiveram por base as teorias de avaliação de empresas de Rappaport (op. cit.).

Quanto ao horizonte temporal foram consideradas três alternativas possíveis: 15, 17 e 19 períodos (ou anos). Nestes valores, os dois últimos foram avançados pela empresa e o primeiro foi utilizado para verificar, caso se optasse pelo abandono da mina dentro de 17 anos, se não se deveria proceder ao fecho da mesma alguns períodos antes.

Através dos valores finais procederam-se a análises comparativas que se apresentam na *Figura 1*.

Para as figuras 1e 2 consideraram-se as seguintes situações para os três horizontes temporais:

1. taxa de juro de 5,06% e valor residual igual a zero;
2. taxa de juro de 18,13% e valor residual igual a zero;
3. taxa de juro de 5,06% e valor residual igual a - 2.440.992 euros;
4. taxa de juro de 18,13% e valor residual igual a - 2.440.992 euros;
5. taxa de juro de 5,06% e valor residual com base nas perpetuidades;
6. taxa de juro de 18,13% e valor residual com base nas perpetuidades;
7. taxa de juro de 5,06%, valor residual igual a zero e cash-flows brutos projectados;
8. taxa de juro de 18,13%, valor residual igual a zero e cash-flows brutos projectados;
9. taxa de juro de 5,06%, valor residual igual a - 2.440.992 euros e cash-flows brutos projectados;
10. taxa de juro de 18,13%, valor residual igual a - 2.440.992 euros e cash-flows brutos projectados;
11. taxa de juro de 5,06%, valor residual com base em perpetuidades e cash-flows brutos projectados;
12. taxa de juro de 18,13%, valor residual com base em perpetuidades e cash-flows brutos projectados.

“a Figura 1 entra aproximadamente aqui”

Olhando para a *Figura 1* constata-se os seguintes aspectos: uma das situações analisadas apresenta valores actuais negativos; destacam-se três das situações com maiores níveis de VAL; destaca-se claramente uma das situações analisadas.

Se ao primeiro aspecto se fizesse uma análise simplista concluir-se-ia que fosse qual fosse o horizonte temporal seleccionado a mina não apresentava viabilidade suficiente para continuar a laborar, pelo menos até aos próximos 14 anos. Esta conclusão não pode ser tão imediata. Nesta situação foi considerada a taxa sem risco de 5,06% e admitiu-se o valor residual calculado com base no método das perpetuidades. O que se passou foi que a projecção para os meios libertos líquidos levou a que os mesmos para os últimos anos fossem negativos. Levando a que: como a taxa de juro era baixa não se verificou

uma conveniente penalização dos meios libertos líquidos mais distantes, que eram precisamente os que assumiam maiores valores negativos, entrando com muito peso no cálculo do valor do VAL; por outro lado, o valor residual é calculado com base no último meio liberto líquido (que possui o maior valor negativo) o qual foi projectado por um tempo indeterminado, evidenciando a hipótese de que a empresa não cessará a sua vida ao fim do horizonte temporal.

Estes valores negativos não poderão apresentar muita relevância na análise final, no entanto, poderão servir como uma chamada de atenção para eventuais anormalidades.

As três situações mais destacadas dizem respeito às situações em 7º, 9º e 11º lugar. Qualquer uma delas recai na situação em que se recorreu aos meios libertos líquidos projectados, com base no modelo binomial, que apresentaram os valores mais elevados. Apresentam os valores mais destacados porque, comparativamente, são aquelas que utilizam a taxa de actualização mais baixa; com respeito à 11ª situação, o valor residual é calculado com base no método das perpetuidades, logo sobrevalorizado.

É a situação n.º 11 a que mais se destaca inclusive para o maior horizonte temporal. O seu empolamento deveu-se às variáveis que estão por detrás da mesma: de taxa mais baixa; valor residual segundo o método das perpetuidades; e meios libertos líquidos projectados pelo modelo binomial.

Em conclusão final nesta aplicação do VAL pode-se destacar que (com as devidas ressalvas), para a grande maioria das situações abordadas, o valor do VAL assumiu valores substancialmente positivos, o que nos indicará que a mina deverá permanecer em funcionamento pelo menos até ao final de 19 anos. Com as devidas ressalvas porque, para além dos aspectos referidos com a análise dos resultados, este não será o método que melhor captará o valor associado a opções reais em investimentos, como a de abandono da mina.

B. O Modelo Binomial

Neste modelo fez-se variar as mesmas variáveis que na aplicação do modelo binomial adaptado de Moyen et. al. (op. cit.), com a intenção de comparar os resultados entre esses dois modelos e os do VAL.

Fizeram-se variar: o parâmetro α das cotações e dos custos operacionais unitários do activo subjacente; o valor residual do investimento; o horizonte temporal.

Para o parâmetro α fez-se o mesmo assumir, quer os valores obtidos através da análise da série histórica de cotações e custos operacionais unitários, quer o valor zero. Este parâmetro só tem interesse para a projecção dos valores das cotações e custos operacionais unitários para o horizonte temporal.

O valor residual assumiu neste modelo somente dois possíveis valores, ou zero, ou o valor atribuído pela empresa aos custos com o fecho da mina.

Para o horizonte temporal assumiram-se os mesmos anos que no método do VAL.

Intrinsecamente à metodologia de avaliação de opções financeiras estão o cálculo de alguns parâmetros estatísticos que foram necessariamente calculados. Se recordarmos as fórmulas de avaliação, ver-se-á que é necessário calcular o desvio padrão anual para as cotações do minério e para os custos operacionais unitários.

No caso das cotações do minério procedeu-se da seguinte forma:

1. construiu-se uma série de cotações mensais do minério, as mesmas que a empresa utiliza no seu dia-a-dia.
2. construiu-se uma série do deflator americano para o mesmo período.
3. construído o índice de inflação americano, calcularam-se os preços reais da série de cotações mensais.
4. procedendo-se em seguida ao cálculo da seguinte relação:

$$\ln \frac{S_{t+1}}{S_t} \quad [19]$$

em que: S_{t+1} , Cotação mensal do minério no período t+1; S_t , Cotação mensal do minério no período t.

Com base nesta relação entre as cotações mensais (que reflecte as rendibilidades associadas às mesma) aproximadas a uma distribuição normal, procedeu-se ao cálculo dos parâmetros estatísticos necessários ao modelo.

5. o desvio padrão que se alcança através do cálculo das estatísticas descritivas nestas relações é um desvio padrão mensal. Dessa forma há que anualizar esse desvio padrão através do seguinte procedimento:

$$\hat{\sigma} = \hat{\sigma}_m \cdot \sqrt{365/m} \quad [20]$$

Para os custos operacionais unitários procedeu-se da mesma forma. Com base no custos operacionais unitários da empresa calculou-se o desvio padrão anual e a sua média.

No modelo binomial foi utilizada a YTM já calculada como taxa de juro sem risco, com o valor de 5,06%. Os custos de fecho continuaram a ser os estimados pela empresa de 2.440.992 euros. Para simplificação de cálculos assumiu-se que a empresa não procede ao pagamento de dividendos durante o período em análise.

O restante trabalho relacionado com a aplicação da binomial resulta numa aplicação recursiva das fórmulas já evidenciadas.

Os resultados finais constam da *Figura 2*. Analisando a aplicação do modelo binomial das opções financeiras, constatou-se que esta aplicação talvez não seja das mais indicadas para avaliar este tipo de projectos. Isto porque, sejam quais forem as situações colocadas em análise, não se verificou existir nenhuma alteração no valor final.

“a Figura 2 entra aproximadamente aqui”

Olhando para a *Figura 2*, verifica-se muito rapidamente, que o que influencia o valor do projecto é o diferente horizonte temporal, quanto mais longínquo pior. Isto verifica-se

porque qualquer das outras variáveis que foram alteradas em nada influenciavam o cálculo do valor, pela própria génese do modelo.

Conclusão final com respeito a esta aplicação da binomial (com as devidas ressalvas) é que a mina continua a ter valor positivo mesmo até ao 19º ano, o que poderá querer indicar que a mina deverá continuar em funcionamento até essa data. Refere-se até essa data, porque se se reparar há uma acentuada descida do valor final do horizonte temporal mais longínquo, tal poderá indicar que a opção de abandono está próxima dos 19 anos. Para se ter mais firmeza dever-se-á proceder a uma outra análise em que se colocarão situações com horizontes temporais mais longínquos que os aqui analisados.

C. O Modelo Binomial adaptado de Moyen et. al.

Nesta aplicação fez-se variar as mesmas variáveis que na aplicação do modelo binomial simples; a estimação dos parâmetros estatísticos foi feita com os mesmos procedimentos; a taxa de juro utilizada é a YTM. Com os dados completos procedeu-se à aplicação recursiva das fórmulas de projecção das cotações, cálculo do valor da mina e do respectivo VAL.

Os resultados finais, para as situações assinaladas, constam das *Figuras 3 e 4*.

“a Figura 3 entra aproximadamente aqui”

1. Calculado com: α dos preços e dos custos diferente de zero; taxa de juro de 5,06%; custos e fecho de 2.440.992 euros; e valor residual igual a zero;
3. Calculado com: α dos preços diferente de zero; taxa de juro de 5,06%; custos de fecho de 2.440.992 euros; e valor residual igual a zero;
5. Calculado com: α dos custos diferente de zero; taxa de juro de 5,06%; custos de fecho de 2.440.992 euros; e valor residual igual a zero;
7. Calculado com: α dos preços e custos iguais a zero; taxa de juro de 5,06%; custos de fecho de 2.440.992 euros; e valor residual igual a zero.

“a Figura 4 entra aproximadamente aqui”

2. Calculado com: α dos preços e dos custos diferente de zero; taxa de juro de 5,06%; custos e fecho de 2.440.992 euros; e valor residual igual a zero;
4. Calculado com: α dos preços diferente de zero; taxa de juro de 5,06%; custos de fecho de 2.440.992 euros; e valor residual igual a zero;

6. Calculado com: α dos custos diferente de zero; taxa de juro de 5,06%; custos de fecho de 2.440.992 euros; e valor residual igual a zero;
8. Calculado com: α dos preços e custos iguais a zero; taxa de juro de 5,06%; custos de fecho de 2.440.992 euros; e valor residual igual a zero.

Esta aplicação é a que se espera ser melhor para avaliação deste tipo de projectos.

Olhando para as *Figuras 3 e 4*, retira-se que:

- numa análise a cada um dos gráficos em separado, independentemente das diferentes variações nas variáveis, o valor calculado para o valor empresa é muito semelhante, evidenciando um leve crescimento à medida que vai aumentando o horizonte temporal em análise;
- numa análise aos dois gráficos, não esquecendo que o primeiro diz respeito ao valor da empresa e o segundo diz respeito ao valor do VAL, constata-se que a diferença entre ambos é quase insignificante;
- nos dois gráficos os valores são todos positivos, portanto indicativo de que a mina deverá continuar a funcionar, face às situações analisadas;
- tendo por base este modelo binomial adaptado, proceder ao cálculo do valor da empresa através do modelo ou através do VAL é indiferente. Enveredando por uma via ou por outra não se chega a conclusões muito diferentes.

D. Conclusões Finais

As conclusões retiradas até ao momento só permitem dizer que a mina, não obstante as limitações da análise, deverá permanecer aberta e em funcionamento até ao 19º ano, deixando ainda em aberto a hipótese de ainda poder permanecer assim por mais algum período de tempo.

O objectivo deste estudo não era somente esta análise e conclusão, pretendia-se também concluir que os critérios normalmente utilizados pelas empresas neste sector não captam convenientemente o valor do investimento. Tal só será possível se se proceder a uma comparação dos resultados alcançados para o VAL e para o valor da empresa com o recurso aos três métodos. Analisemos três gráficos finais.

Analisando o gráfico constante da *Figura 5*, que procede à comparação entre os valores obtidos para o VAL através do modelo binomial adaptado ou através do método do VAL calculado para uma taxa de 5,06%, constata-se que:

- existe uma diferença de valores entre as quatro primeiras linhas, que dizem respeito ao modelo binomial adaptado e as restantes três linhas, para o método do VAL;
- são essas quatro primeiras linhas as que maiores valores apresentam.

“a Figura 5 entra aproximadamente aqui”

A conclusão final deste gráfico é bastante evidente: o método do VAL, da forma como aqui foi equacionado, não capta convenientemente valores de opções reais associadas a determinados projectos, induzindo-nos em erro.

Comparando, o VAL, com o modelo binomial adaptado e com o método simples, à taxa de 5,06%, tendo no cálculo do VAL, tido por base os meios libertos líquidos projectados com a binomial adaptada.

“a Figura 6 entra aproximadamente aqui”

Olhando para o gráfico da *Figura 6* constata-se que:

- não existem diferenças substanciais entre os valores alcançados com um modelo ou com outro, com excepção da linha mais acima que se destaca bastante das restantes;
- essa linha diz respeito ao cálculo do valor residual pelo método das perpetuidades.

Conclui-se que ao incorporar no cálculo do VAL um modelo binomial adaptado (para o cálculo e projecção dos meios libertos líquidos) se consegue colmatar em muito a falha de cálculo do valor do projecto com o recurso ao VAL, como já se havia concluído. Com essa adaptação já se conseguirá reflectir no método do VAL o valor que está subjacente ao efeito da flexibilidade, no entanto falta referir um aspecto que se depara rapidamente ao olhar para o gráfico, que é o facto associado à linha que mais se destaca. Já se referiu que esta correspondia à hipótese do valor residual calculado com base no método das perpetuidades, ora há de facto uma grande disparidade entre os valores alcançados nas outras hipóteses e o desta, tal permite concluir que na situação em que

nos encontramos, em que se verifica existir opções reais e logo um efeito da flexibilidade no valor do investimento, recorrer ao método das perpetuidades para o valor residual não será o melhor procedimento. Até porque, como já se referiu, este método está implicitamente a assumir que a empresa, ou investimento em análise, irá permanecer em laboração contínua por período de tempo indefinido, pressuposição que no presente caso ia perfeitamente contra a opção real em estudo - opção de abandono.

Para terminar as comparações falta analisar o gráfico constante da *Figura 7*. Este procede à comparação entre os valores alcançados para a empresa no modelo binomial adaptado e no modelo binomial sem qualquer alteração.

Rapidamente se verifica que é necessário proceder a uma ligeira adaptação ao cálculo de algumas variáveis no modelo binomial simples, como seja o cálculo de um processo de evolução para as cotações e custos operacionais.

“a Figura 7 entra aproximadamente aqui”

Quer o método do VAL, quer o da binomial necessitam de algumas adaptações para poderem calcular convenientemente o valor associado ao efeito da flexibilidade, adaptações tais como a incorporação de alguns dos procedimentos associados ao modelo binomial adaptado para as opções reais. Caso contrário poderão induzir em conclusões erradas e desajustadas da situação em análise.

6. CONCLUSÕES

Este estudo permitiu retirar conclusões muito importantes com respeito ao efeito da flexibilidade na decisão de investimento. Veio também corroborar importantes conclusões que haviam sido retiradas por: Brennan e Schwartz; Kensinger; Moyen et. al.; Soares; Trigeorgis; entre outros, já referidos ao longo do estudo.

Recordando as figuras e as conclusões já apresentadas. Para a avaliação da opção de abandono da mina em análise verificou-se que se se recorrer somente ao método do VAL encontravam-se valores muito mais baixos do que os que foram encontrados com o recurso à teoria de valorização de opções (o modelo binomial). O que reflectiu que

esse método, tal como ele é definido na sua génese, não consegue captar o valor que está associado à existência de flexibilidades. Os valores alcançados com a aplicação do modelo binomial são muito superiores e já permitem reflectir na análise a ocorrência de flexibilidades, que neste estudo foi a de abandono mas que poderia ter sido qualquer outra e em qualquer momento no tempo.

Concluiu-se também que se se efectuassem alguns ajustes ao método do VAL, como por exemplo se utilizassem valores para os meios libertos líquidos projectados com a ajuda de um modelo binomial, já se verificariam acréscimos substanciais nos valores alcançados com essa alteração. Isto sugere-nos que tal como é definido o critério do VAL não capta o valor que as opções reais podem acarretar para um decisor e para o investimento.

Com estas conclusões permite-se demonstrar a relevância do ponto de vista empresarial subjacente a este problema. Na medida em que alerta os empresários para os problemas associados às metodologias que a maioria dos mesmos aplica no seu dia-a-dia. Talvez com estas demonstrações se consiga que os nossos empresários se passem a interessar mais por outras metodologias de avaliação de investimentos, mesmo que elas à primeira vista lhes pareçam complicadas. É que o retorno que obterão será bastante compensatório.

Não se pode terminar sem deixar de referir que esta é uma área financeira ainda muito nova e logo que possui muitas coisas por descobrir e aperfeiçoar.

O estudo aqui iniciado não pretende mais do que ser mais um contributo para a evolução desta matéria e incentivo para outros seguirem os mesmos passos.

A análise aqui efectuada não é senão um pequeno desvendar do que se pode realizar em torno desta matéria. Veja-se que das opções reais referidas ao longo do estudo apenas se procedeu à análise da opção de abandono assim, uma outra hipótese para um estudo era estender esta análise aos outros tipos de opções reais e se possível analisar o efeito conjunto das mesmas. Para além desta hipótese existe outra ou outras, que surgem na medida em que, a área em que as opções reais se aplicam não ser somente a apresentada neste estudo. Esta avaliação da decisão de investimento com opções reais aplica-se também nas áreas de extracção de petróleo; na extracção de outros minérios; no sector

da energia eléctrica; aos problemas de definição de salários; na área dos preços de terrenos urbanos; etc.

Como se pode verificar muito ainda há por se desvendar nesta área e muito tempo terá que correr para que este tipo de avaliação passe a ser prática corrente nos empresários.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARRETO, I. (1991), **Obrigações, Análise e Gestão**. Texto Editora, Textos de Gestão, 2ª Edição, Portugal.

BONINI, C. (1977), «Capital investment under uncertainty with abandonment options». *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, March, pp. 39-54.

BREALEY, R. A. e S. C. MYERS (1998), **Princípios de Finanças Empresariais**. Trad. da 5ª ed. Americana, The McGraw-Hill Companies, Inc., EUA.

BUCKLEY, A. (1996), **International Capital Budgeting**. Prentice-Hall.

COX, J., S. ROSS e M. RUBINSTEIN (1979) «Option pricing: a simplified approach». *Journal of Financial Economics*, 7, pp. 229-263.

KENSINGER, J. W. (1980), «Project abandonment as a put option: dealing with the capital investment decision and operating risk using option pricing theory». Paper Presented at the Annual Meeting of the Financial Management Association, October.

KENSINGER, J. W. (1987), «Adding the value of active management into the capital budgeting equation». *Midland Corporate Finance Journal*, 5, nº 1, pp. 31-42.

MAGEE, J. (1964), «How to Use Decision Trees in Capital Investment». *Harvard Business Review*, Set./Out., nº 42, pp. 79-96.

MOYEN, N., M. SLADE e R. UPPAL (1996), «Valuing risk and flexibility, a comparison of methods». *Resources Policy*, vol.22, nºs 1/2, pp. 63-74.

MYERS, S. e S. MAJD (1985), «Calculating abandonment value using option pricing theory». Sloan School of Management, *Working Paper*, first draft: May 1983, revised: June 1985.

RAPPAPORT, A. (1986), **Creating Shareholder Value, the New Standard for Business Performance**. The free press, New York, USA.

ROBICHEK, A. A. e J. C. VANHORNE (1967), «Abandonment value and capital budgeting». *Journal of Finance*, December, pp. 577-589.

TRIGEORGIS, L. (1996), **Real Options, Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation**. MIT Press, London, England.

TRIGEORGIS, L. e S. P. MASON (1987), «Valuing managerial flexibility». *Midland Corporate Finance Journal*, 5, n.º 1, pp. 14-21.

8. ANEXOS

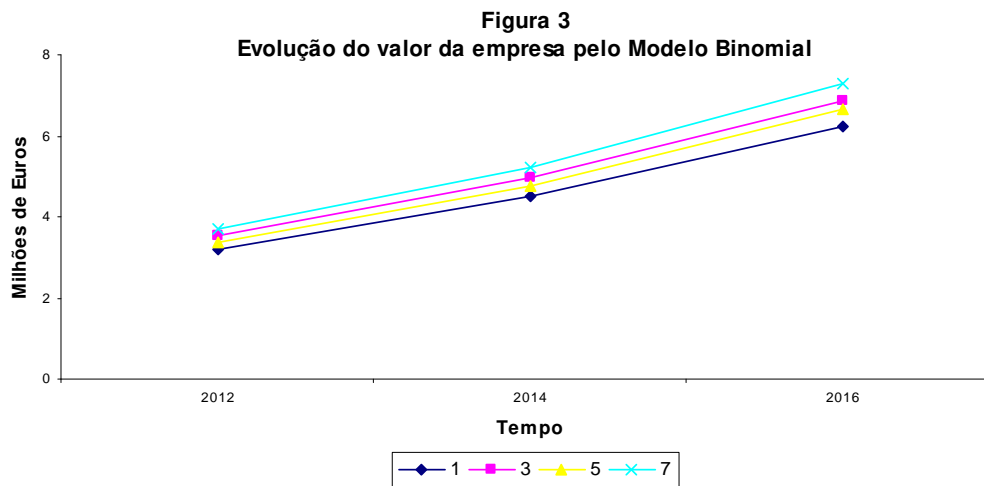
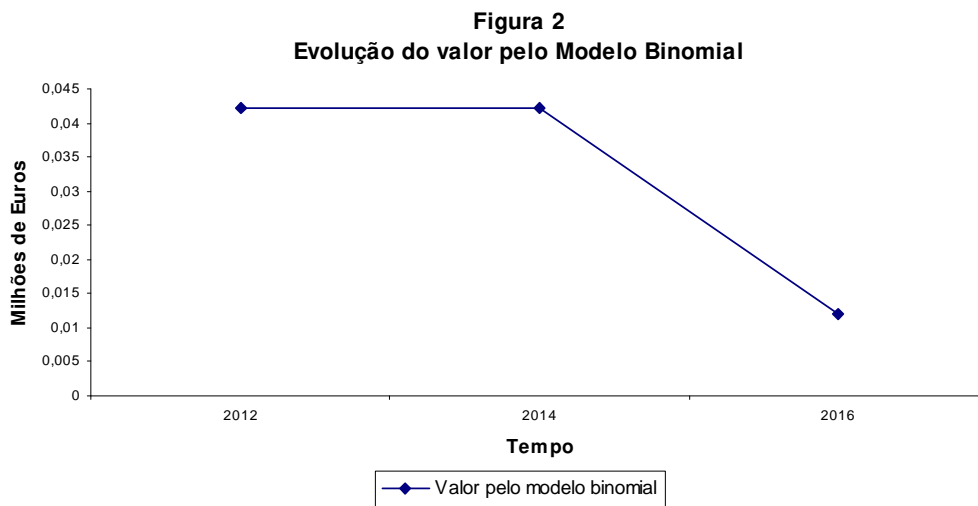
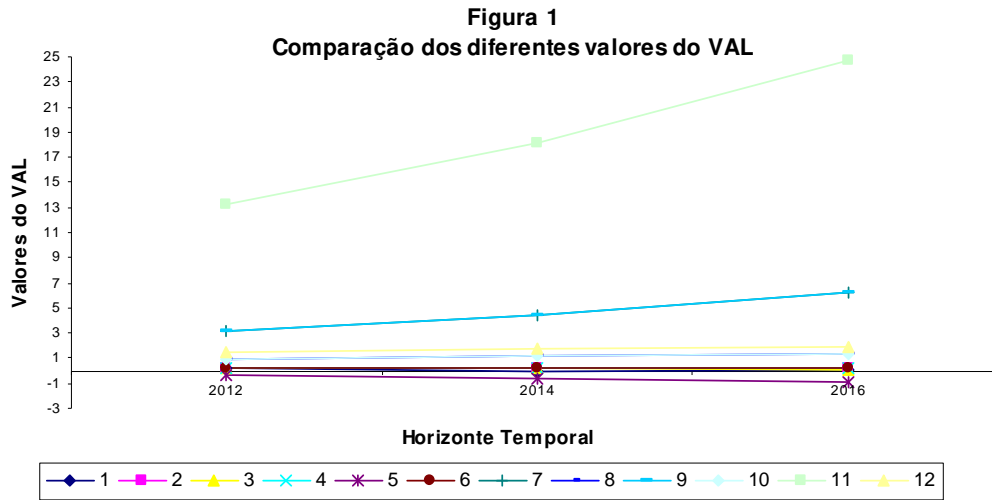


Figura 4
Evolução do valor do VAL pelo Modelo Binomial

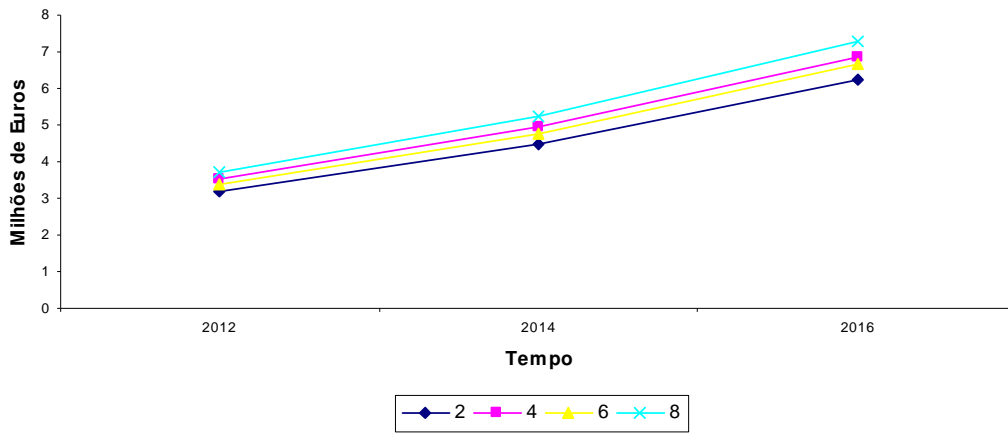


Figura 5
Evolução do VAL pelo Modelo Binomial e pelo método do VAL

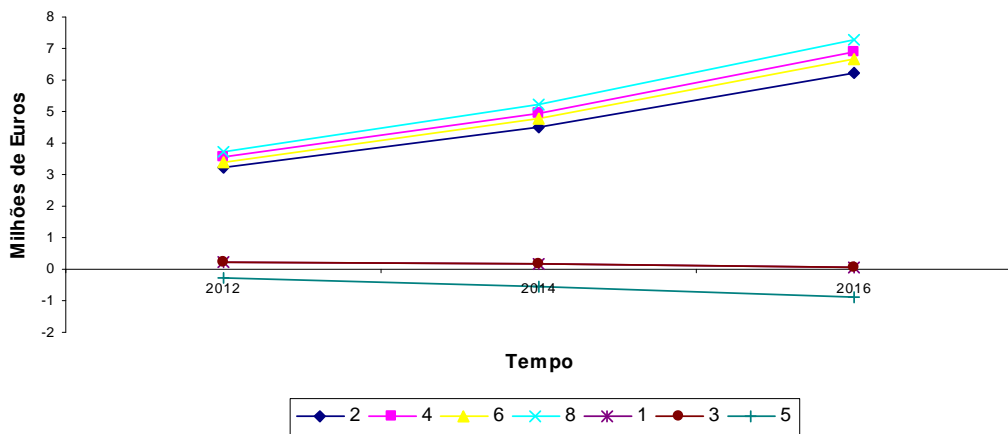


Figura 6
Evolução do valor do VAL pelo Modelo Binomial e pelo método do VAL

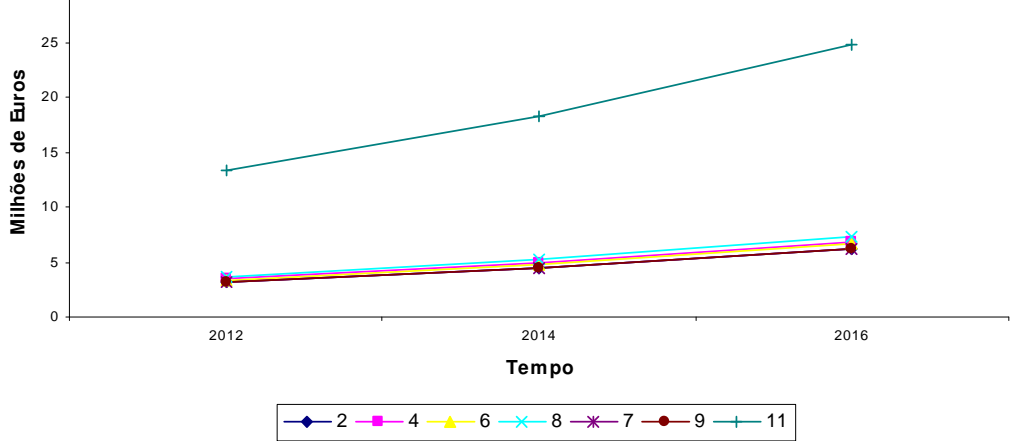


Figura 7
Evolução do valor da empresa pelo Modelo Binomial e Binomial Adaptada

