

INVESTIMENTO EM ADUTORAS E BARRAGENS E A OPÇÃO DE ESPERA: uma aplicação da Teoria das Opções Reais

Ailton Francisco da Rocha¹; Gabriel de La Fuente Herrero²; José Ricardo de Santana³; Kátia Maria Carlos Rocha⁴ & Pablo de Andrés Alonso⁵

RESUMO - Esse artigo aplica a Teoria das Opções Reais (TOR) na análise da viabilidade econômica de investimentos em barragens e adutoras. Supõe-se que a opção de investimento é perpétua e o projeto pode ser implementado em qualquer instante de tempo desejado. O estudo considera a flexibilidade de adiamento do projeto juntamente com incertezas no seu valor (fluxos de caixa esperados) e no respectivo custo do investimento (desembolsos esperados). O objetivo é obter uma regra ótima de decisão, ou seja, o instante ótimo do investimento, considerando as incertezas relacionadas ao projeto bem como a opção de espera existente. Os resultados obtidos são comparados com aqueles provenientes da abordagem tradicional de Valor Presente Líquido (VPL). São utilizados do projeto PROVABASE. A utilização da metodologia da TOR proporciona um valor 10% maior que o verificado quando se aplica a abordagem tradicional de VPL.

ABSTRACT - That article applies to Theory of the Real Options (TOR) in the investments economic viability analysis in dams and pipelines. It supposes that the investment option is perpetual and the project can be implemented in any instant of wished time's. The study considers the project postponement flexibility together with uncertainties in your value (waited cash flows) and in the investment respective cost (waited payments). The goal is to obtain a great rule of decision, in other words, the great instant of the investment, considering the uncertainties related to project as well as the option of wait for existing. The obtained results are compared with those proveniences of the traditional approach of Liquid Present Value (VPL). Are used of the project PROVABASE. The methodology utilization of TOR provides a value 10% greater than the verified when it applies VPL's traditional approach.

Palavras-chave: adutoras e barragens, opções reais e opção de espera.

¹ Superintendente de Recursos Hídricos, rua Vila Cristina, 1051, 40.015-000 Aracaju -SE . E-mail: afrocha@infonet.com.br

² Professor da Universidade de Valladolid, Avenida Vale Esgueva, 6, Valladolid – Espanha. E-mail: gfuente@eco.uva.es

³ Professor da Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, s/n, 49.100-000, São Cristóvão-SE. E-mail: jrsantana@ufs.br

⁴ Pesquisadora do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Av. Presidente Antônio Carlos, 51, 20020-010 - Rio de Janeiro – RJ. E-mail: kátia@ipea.gov.br

⁵ Professor da Universidade de Valladolid, Avenida Vale Esgueva, 6, Valladolid – Espanha. E-mail: pandres@eco.uva.es

INVESTIMENTO EM ADUTORAS E BARRAGENS E A OPÇÃO DE ESPERA: uma aplicação da Teoria das Opções Reais

1. Introdução

A Teoria das Opções Reais (TOR), advinda da teoria de opções financeiras existentes desde os trabalhos de Black&Scholes (1973) e Merton (1973), é relativamente recente na análise de investimentos e projetos reais. Sua ampla divulgação iniciou-se a partir de livros textos como Dixit e Pindyck (1994) e Trigeorgis (1996).

A metodologia da TOR é capaz de quantificar projetos de investimentos de grande porte e sujeitos às mais diversas fontes de incertezas em seus fluxos de benefícios e/ou custos quando existe flexibilidade gerencial para reagir a essas mudanças inesperadas nos cenários econômicos.

Devido a essa flexibilidade a TOR proporciona avaliações que por vezes superam em muito a metodologia tradicional de Valor Presente Líquido (VPL) na quantificação de valores considerados intangíveis, mas de importância estratégica para a empresa. A análise pela abordagem estática e tradicional de fluxo de caixa descontado (VPL), embora sempre útil em uma primeira análise, via de regra deprecia o valor do investimento, uma vez que o VPL não é capaz de captar os benefícios advindos da flexibilidade de se adiar o investimento, ou seja, a capacidade de se esperar por melhores momentos para iniciar o investimento.

A mencionada abordagem de Opções Reais para análise de investimentos está sendo cada vez mais utilizada em estudos de viabilidade econômica em grandes corporações e grandes investimentos na atualidade¹. Grandes projetos, envolvendo recursos consideráveis, possuem, como maior fonte de valor, a opção de espera (opção de *timing*) que se baseia na idéia de sempre esperar por melhores condições para o comprometimento do capital, principalmente em um investimento de características irreversíveis.

O referente estudo aplica a abordagem da Teoria das Opções Reais para análise da viabilidade econômica do projeto PROVABASE, que trata do investimento em adutoras e barragens no estado de Sergipe. São consideradas as incertezas em seu valor e custo e admite-se que o investidor detém a flexibilidade do adiamento do projeto por tempo indeterminado (opção perpétua.).

Além desta introdução, o artigo está composto de mais cinco seções. A segunda seção descreve a Teoria das Opções Reais e suas aplicações recentes apresentando o conceito de opção, comparando com a teoria das opções financeiras e então passamos para sua aplicação como

ferramenta de análise de decisão no formato de opções reais. Nesta mesma seção são apresentadas as aplicações de opções reais na indústria de petróleo.

Na terceira seção é detalhado o modelo proposto, como opção de espera, em que são apresentados os parâmetros e dados de entrada do modelo, especialmente da taxa de distribuição de fluxo de caixa (ou taxa de dividendos) e do parâmetro de incerteza (volatilidade).

Na quarta seção são realizadas as análises dos resultados comparando a metodologia do VPL x TOR, usando um caso base e mais dois cenários.

Na quinta seção, são apresentadas as conclusões e recomendações. A avaliação do projeto PROVABASE pela Teoria das Opções Reais permite quantificar a flexibilidade advinda da opção de espera e adiamento do projeto e apresenta sugestões que podem ser consideradas em desenvolvimentos futuros para melhor adaptar o modelo a realidade.

2. Teoria das Opções Reais e suas aplicações recentes

2.1. Teoria das Opções Reais (TOR)

Opções são contratos que dão ao seu titular o direito de comprar ou vender um determinado ativo (ativo-objeto), a um preço pré-fixado (preço de exercício), numa certa data, ou antes desta (data de vencimento). Após a data de vencimento a opção extingue-se. O titular de uma opção detém o direito de fazer algo; entretanto, este direito não precisa ser exercido. Exercer uma opção refere-se ao ato de comprar ou vender um determinado ativo (ativo-objeto), via contrato de opção.

As opções, sejam de compra ou de venda, que podem ser exercidas a qualquer momento, até a data de vencimento, são chamadas de opções americanas. Já as opções que somente podem ser exercidas na data de vencimento são chamadas de opções européias. A maioria das opções negociadas em bolsa é do estilo americano.

Uma opção de compra é um *direito* (e não um dever) de comprar uma ação por um certo preço em (até) uma data futura. Esse direito se adquire pagando um prêmio ao lançador da opção. Tanto o valor da ação quanto o valor do prêmio (ou da opção) oscilam no mercado (bolsas de valores). Analogamente, uma oportunidade de investimento “real” (na construção de uma barragem, por ex.) é também um direito: o gerente não é obrigado a investir, ele pode esperar por melhores condições, já que raramente a oportunidade de investimento é do tipo “agora ou nunca”.

O ativo subjacente de uma opção financeira é um valor mobiliário como uma ação ordinária ou um título (ou taxas de juros), enquanto no caso das opções reais, o ativo subjacente é algo tangível como, por exemplo, uma unidade de negócios ou um projeto. Ambos os tipos de opção

constituem o direito, mas não a obrigação, de empreender uma ação.

O fato de que as opções financeiras se alicerçam em valores mobiliários negociados torna muito mais fácil a estimativa de seus parâmetros. No caso das opções reais, o ativo subjacente em geral não é negociado; portanto, formulamos a suposição da Negação do Ativo Negociado para poder estimar o valor presente do ativo subjacente sem flexibilidade mediante o emprego de técnicas tradicionais de valor presente líquido.

Outra diferença importante entre opções financeiras e reais é que a maioria das opções financeiras é constituída de apostas secundárias. Elas não são emitidas pelas empresas em cujas ações se alicerçam, mas por agentes independentes que as lançam e compram as que foram lançadas. As opções reais são diferentes, porque a gerência controla o ativo subjacente em que se alicerçam. Por exemplo, uma empresa pode ter o direito de adiar um projeto e pode optar por fazê-lo se seu valor presente é baixo. No entanto, se a empresa descobre uma idéia que aumente o valor presente do projeto subjacente (sem flexibilidade), o valor do direito de diferir pode cair e a empresa pode optar por não adiar. Em geral, o ato de melhorar o valor do ativo real subjacente também melhora o valor da opção.

Nas opções tanto financeiras quanto reais, supõem-se que o risco - a incerteza do ativo subjacente - seja exógeno. A incerteza quanto à taxa de retorno de uma ação ordinária está, de fato, além do controle ou da influência das pessoas que negociam as opções sobre essas ações.

Uma opção real é o direito, mas não a obrigação, de empreender uma ação (por exemplo, diferir, expandir, contrair ou abandonar) a um custo predeterminado que se denomina preço de exercício, por um período preestabelecido - a vida da opção.

Como é o caso de suas primas financeiras, o valor das opções reais depende de seis variáveis básicas (embora outras possam fazer parte do quadro). As seis são: o *valor do ativo subjacente sujeito a risco*; o *preço de exercício*; o *prazo de vencimento da opção*; o *desvio padrão do valor do ativo subjacente sujeito a risco*; a *taxa de juros livre de risco ao longo da vida da opção e os dividendos*.

Opções reais são flexibilidades gerenciais embutidas nas oportunidades de investimento e nos projetos em geral. Como observa Trigeorgis (1993), muitas dessas opções reais *ocorrem naturalmente* enquanto *outras podem ser planejadas* e incorporadas em um projeto, mas com um custo adicional. Dentre as opções que ocorrem naturalmente, podem ser citadas as opções de espera (ou de *timing*), de contração de capacidade, de parada temporária, e de abandono. Dentre as opções que podem ser planejadas a um custo adicional, podem ser citadas as opções de expansão de capacidade, de mudança de uso (de um ativo como uma plataforma móvel), de mudança de insumo, etc.

A opção de espera ou de “timing” de investimento, tem um papel preponderante quando se

XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos

considera a tomada de decisão de investimento. Como raramente a decisão é do tipo “agora ou nunca”, o gerente pode deixar o projeto na “carteira de projetos” (aguardando prioridade) ou em “reestudo” (fazendo *análise de valor*ⁱⁱ, ou refazendo o Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica - EVTE), aguardando por novas informações e/ou melhores condições. Naturalmente, quando o projeto é muito atrativo (“deep in the money”), a espera deixa de ter valor e o gerente deve iniciar logo o projeto para “capturar” os generosos fluxos de caixa do projeto.

Da mesma maneira que opções financeiras dão o direito, mas não a obrigação, ao comprador da opção, de obter um portfólio de óleo futuro por um determinado preço de exercício, o campo petrolífero não desenvolvido dá o direito, mas não a obrigação, ao detentor do contrato de exploração, de obter um perfil de produção fazendo um investimento de capital. Desta maneira, um campo petrolífero não desenvolvido é uma opção e o montante de investimento de capital requerido para desenvolver é o preço de exercício.

O primeiro trabalho a introduzir a teoria das opções para valorar reservas não desenvolvidas de petróleo foi o de Paddock *et al* (1979). Neste famoso trabalho é introduzida a analogia entre o valor de uma opção financeira de compra de ação e a opção real sob uma reserva não desenvolvida de petróleo.

Nesta analogia introduz-se o conceito de que uma reserva não desenvolvida de petróleo pode ser considerada como uma opção de compra de uma reserva desenvolvida de petróleo. O trabalho executado por Paddock *et al*, foi conduzido exatamente para suprir a falta de precisão na valoração de reservas não desenvolvidas nos EUA. Naquela época, os valores estimados pelos órgãos governamentais (baseados na teoria de valoração por FCD) não eram consistentes com os valores praticados pela indústria.

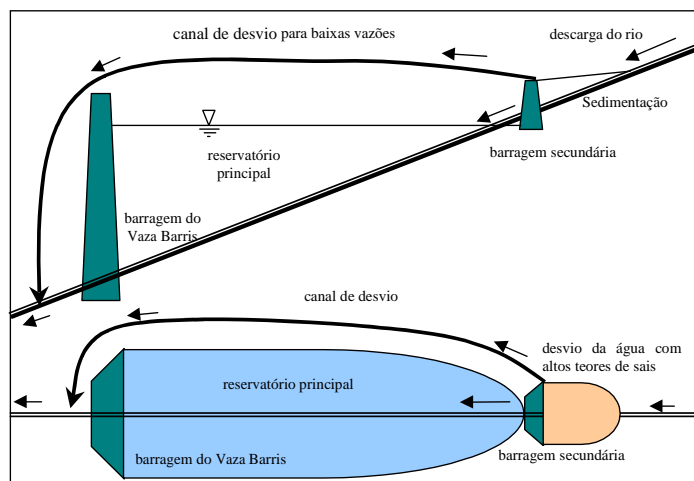
Paddock *et al*, conseguiu se aproximar dos valores praticados utilizando-se da valoração por meio da teoria das opções, sendo este o primeiro resultado positivo publicado da aplicação de opções reais na indústria de petróleo.

No caso da indústria de mineração, outros exemplos apresentam a utilização de opções reais para valorar as possíveis decisões que uma empresa pode tomar ao longo da vida de uma jazida. Diversos autores exploraram as possíveis opções em projetos minerais, como por exemplo o fechamento temporário de uma jazida (Siegel e McDonald, 1985 e Brennan e Schwartz, 1985). Entre as diversas opções analisadas, as mais comuns foram – adiar o investimento inicial, abandonar o investimento, fechar temporariamente a jazida e expandir o projeto.

2.2. Aplicação da TOR ao caso dos investimentos em barragens e adutoras

Em busca de novas alternativas para o abastecimento de água destinados à região agreste de Itabaiana e Lagarto em Sergipe, servindo também como uma opção estratégica para atender a capital do Estado, foi desenvolvido o Projeto Vaza Barris - PROVABASE para servir de manancial aos sistemas integrados de adutoras já existentes, sendo composto por uma barragem secundária de desvio e acumulação de sedimentos, um canal de desvio para baixas vazões e um reservatório principal (Figura 1).

Figura 1. Esquema do Projeto PROVABASE



Fonte: JICA, 2000

O problema que se apresenta de análise de viabilidade econômica do projeto PROVABASE é um exemplo da presença de opções ou alternativas de ações futuras. Tais situações demonstram que a flexibilidade (no caso a opção de adiar ou esperar antes de se cometer um investimento) tem valor econômico. Enquanto seja óbvio, do ponto de vista teórico, esta criação de valor é surpreendentemente complicada de ser avaliada na prática.

Há muito que os profissionais da área gerencial intuam que tanto a flexibilidade operacional como a flexibilidade estratégica (ou seja, a opção de alterar um curso de ação planejada no futuro, dada a informação disponível no momento) são elementos importantes no planejamento e na tomada de decisões.

É uma preocupação fundamental da Teoria Financeira determinar a importância da flexibilidade e como quantificá-la. Outras questões se relacionam às várias formas de flexibilidade e como elas se interagem. O conhecimento de como a competição afeta o valor da flexibilidade é outro fator de relevância.

O moderno desenvolvimento da Teoria Financeira nas últimas duas décadas propiciou um progresso extraordinário na construção de modelagem baseada na Teoria das Opções que reconhece o impacto da flexibilidade nas decisões de alocação de recursos de investimento de capital.

O presente problema em estudo é uma oportunidade de identificação e avaliação destas flexibilidades. Assim, a oportunidade de se aplicar conhecimentos previamente adquiridos ou a flexibilidade estratégica de posicionamento em um novo campo de conhecimento, apresentam opções valiosas que não podem ser ignoradas na avaliação de investimentos.

Aqui se encontra a opção de espera em um investimento onde tanto o valor do projeto quanto seu custo são considerados incertos. Desse modo, o valor econômico deste projeto não pode ser avaliado utilizando-se a técnica tradicional de FCD, pois está presente, neste caso, uma valiosa opção de espera (*defer option*). A aplicação do aparato baseado em opções para avaliação desta flexibilidade é, ao mesmo tempo, elegante e complexo. Sua beleza está na unificação de princípios bem sedimentados da Teoria Econômica e da Matemática, capturando todas as implicações da incerteza no processo de alocação de recursos e planejamento de decisões.

Estes benefícios, infelizmente, só são obtidos ao custo da grande complexidade das técnicas baseadas na Teoria das Opções aplicadas a situações do cotidiano. É certo, porém, que os méritos deste enfoque são tão significativos que não podem ser ignorados pelos tomadores de decisões no campo da orçamentação de capital, apenas por sua complexidade.

3. Aplicação do Modelo Proposto

3.1 Modelo

A viabilidade econômica de investimentos em adutoras, como o projeto PROVABASE, pode ser analisada pela metodologia das Opções Reais. Esses investimentos caracterizam-se por apresentarem incertezas nos fluxos de benefícios e custos do projeto. O investimento pode ser realizado em qualquer instante de tempo, e pode-se supor até um horizonte de tempo infinitoⁱⁱⁱ.

Utilizamos para esta aplicação o modelo de McDonald e Siegel (1986) apresentado no Apêndice A deste estudo.

Seja o valor do projeto V e seu custo de investimento I evoluírem segundo o movimento geométrico browniano descrito pelas Equações (1) e (2), onde dw e dz são incrementos de Wiener não correlacionados.

$$\frac{dV}{V} = \alpha_v dt + \sigma_v dz \quad (1)$$

$$\frac{dI}{I} = \alpha_I dt + \sigma_I dw \quad (2)$$

Para evitar arbitragem as Equações (1) e (2) podem ser substituídas pelos processos estocásticos neutro ao risco, na medida equivalente de Martingal, onde δ_V e δ_I representam o custo de oportunidade gerado pelo projeto^{iv} e do capital e r equivale a taxa de juros livre de risco.

$$\frac{dV}{V} = (r - \delta_V)dt + \sigma_V dz^* \quad (3)$$

$$\frac{dI}{I} = (r - \delta_I)dt + \sigma_I dw^* \quad (4)$$

Seja $F(V,I)$ o valor da opção perpétua de investimento. Prova-se que a opção segue a equação diferencial parcial elíptica (5) sujeita às condições de contorno (6) - (10).

$$\frac{1}{2}\sigma_V^2 V^2 F_{VV} + \frac{1}{2}\sigma_I^2 I^2 F_{II} + (r - \delta_V)VF_V + (r - \delta_I)IF_I = rF \quad (5)$$

$$F(0,I) = 0 \quad (6)$$

$$F(V,0) = V \quad (7)$$

$$F(V^*, I^*) = V^* - I^* \quad (8)$$

$$F_V(V^*, I^*) = 1 \quad (9)$$

$$F_I(V^*, I^*) = -1 \quad (10)$$

A equação (8) é a conhecida como *value-matching condition* e a equação (9) e (10) como *smooth-pasting condition*.

Algumas considerações devem ser feitas em relação a este modelo. Em primeiro lugar, o aumento do custo de oportunidade do projeto reduz a opção. Isto é coerente com o fato de que o aumento do custo de oportunidade implica que o projeto está fornecendo altos benefícios, ficando mais caro se deter a opção em detrimento do projeto.

Em segundo lugar, o aumento do custo de oportunidade do capital implica no aumento da opção. Isto é coerente com o fato de que existe um ganho no adiamento do projeto uma vez que o capital pode estar aplicado em um investimento alternativo de alto retorno, valorizando desta forma a opção de espera.

Por último, o aumento da volatilidade (incerteza) aumenta o valor do investimento em comparação com a regra de VPL. Isto se deve à assimetria da opção, que pode ser exercida somente para cenários de incerteza que agregam valor positivo.

3.2 Aplicação da TOR ao caso das barragens e adutoras

A aplicação ao caso das barragens e adutoras exigiu que fossem assumidas algumas hipóteses para a obtenção das variáveis relevantes.

i) Incertezas dos benefícios e dos custos

As variáveis incertezas do PROVABASE correspondem ao valor presente total dos benefícios e ao valor presente total dos custos. Estas variáveis podem apresentar correlação, sinalizando como mudanças em uma delas afetam mudanças na demais.

ii) Dividendos relativos aos benefícios

Ao considerar *incerteza* no valor presente total dos benefícios do PROVABASE, é necessário estimar e identificar o fluxo de “*dividendos*”. O projeto PROVABASE gera um fluxo de benefícios que é equivalente ao pagamento de dividendos por uma ação. Esses “*dividendos*” descrevem o custo de oportunidade de capital por não se deter efetivamente o projeto, mas sim a opção de investimento.

Desta forma, o investidor está deixando de se apropriar desses fluxos. Evidentemente, quanto maior a expectativa desses “*dividendos*”, maior o interesse no investimento imediato de forma a captar rapidamente esses fluxos. Os “*dividendos*” podem ser encarados como uma percentagem sobre o valor presente do benefício total do projeto.

A cada tempo t , paga-se um fluxo de “*dividendos*” calculado pela razão entre o fluxo de benefício gerado em t e pelo valor presente do benefício total do projeto até t . O “*dividendo ponderado*” corresponde à média ponderada no tempo dos fluxos de todos os “*dividendos*” gerados em t . Essa ponderação pretende dar um peso maior aos dividendos gerados mais cedo. O dividendo médio estimado para o PROVABASE foi de 7% aa.

iii) Dividendos relativos aos custos

Ao considerar *incerteza* no custo do PROVABASE é necessário estimar e identificar os “*dividendos*” relativos a este custo. Os “*dividendos*” relativos aos custos podem ser interpretados como custo de oportunidade alternativo para esse capital investido. Adota-se como regra geral que o capital poderia estar recebendo a taxa livre de risco se aplicado. Dado que o custo de capital do projeto é de 10% aa, consideramos a taxa livre de risco equivalente a 7% aa. Portanto, o custo de oportunidade do capital necessário ao investimento equivale a 7% aa.

iv) Volatilidades dos benefícios e custos

As incertezas (volatilidades) tanto no valor presente dos benefícios totais quanto nos custos totais devem ser identificadas e estimadas. Para isso têm-se dois caminhos: opiniões dos “*experts*” e estimações de séries históricas.

4. Análise dos Resultados

4.1 Avaliação pela metodologia do VPL

O projeto PROVABASE foi avaliado pela metodologia tradicional de VPL. O **Apêndice B** apresenta os fluxos de caixa^v esperados, depois de impostos, relativos aos benefícios “*Fluxos dos Benefícios*” e o fluxos de desembolsos “*Fluxos dos Custos*”.

Utilizando-se o custo de oportunidade de capital “*custos de capital*” de 10% aa, estimou-se o VPL em R\$ 110.4 milhões.

Esse VPL equivale a diferença entre o valor presente dos benefícios e dos custos totais: “*VP(Benefícios Totais)*” – “*VP(Custos Totais)*”.

Valendo-se da matemática financeira é possível fazer uma análise da viabilidade de um projeto. Para tanto, é necessário que seja feita uma previsão de todo o fluxo de caixa do projeto para os n períodos futuros para os quais o projeto esteja em vigor. Esta previsão deve ser feita com o máximo de acuracidade, levantando-se quais serão os desembolsos e recebimentos nos próximos n períodos, descontando-as então a uma certa taxa de desconto predeterminada para se obter o valor daquele projeto na data zero. Na data zero estes valores são somados ao investimento inicial.

O método do valor presente líquido tem sua forma básica sintetizada pela fórmula abaixo.

$$VPL = \frac{\sum_{i=1}^n VLE_i}{(1 + k)^i} - I$$

Onde:

VLE_i = valor líquido esperado para o período i ;

k = taxa de desconto ajustada ao risco

I = investimento inicial no tempo $t = 0$;

$i = 1, 2, 3, \dots, n$ (período).

Em princípio, cada projeto possui seu próprio custo de capital. Na prática, as firmas agrupam projetos similares em classes de risco e usam o mesmo custo de capital para projetos de

uma mesma classe. A existência de VPL positivo é definida como o critério básico de aceitação ou rejeição de determinado projeto e a ordenação de VPL's é o critério de escolha entre diversas alternativas de investimento. Tais critérios são comumente comparados a outros, como o cálculo da taxa interna de retorno (TIR) e da relação benefício/custo, sendo o VPL apresentado como o critério financeiramente mais correto .

Muitos dos projetos que são analisados através do VPL carregam em si as chamadas opções embutidas (*embedded options*), que são, na maioria das vezes, fatores intangíveis. Tais opções, como futura vantagem competitiva, possibilidade de expansão, contração, etc, são muitas vezes estratégicas e concedem à empresa flexibilidades para reagir às incertezas do mercado. O valor de tais opções, entretanto, não é captado através de uma análise estática do VPL, o que pode conduzir a uma sub-avaliação dos investimentos.

O problema deste modelo está no fato de que não pode captar a flexibilidade administrativa, ou seja, a habilidade que a administração tem de revisar o projeto inicial quando incertezas futuras são resolvidas ou apresentam-se de forma diferente da prevista.

O modelo é materializado em uma planilha interativa em Excel. Essa planilha é de fácil manuseio, e não demanda mais do que conhecimentos rudimentares de informática, de forma que um usuário sem conhecimentos de Excel possa utilizá-la.

4.2 Avaliação pela metodologia da TOR

As incertezas (volatilidades) tanto no valor presente dos benefícios totais quanto nos custos totais devem ser identificadas e estimadas.

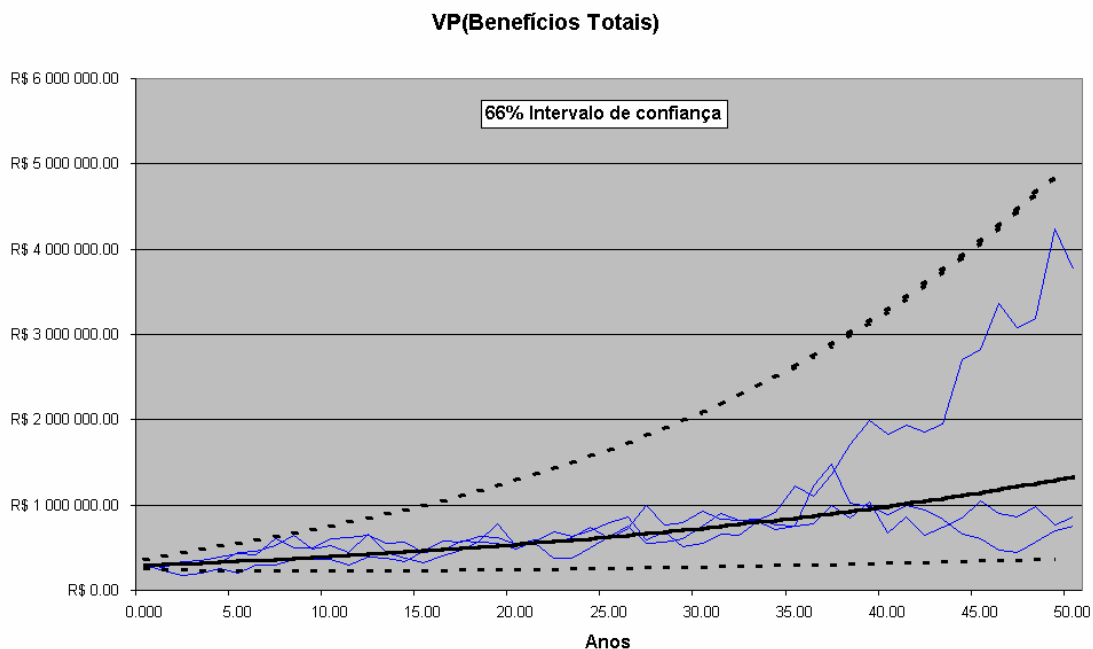
Para isso temos dois caminhos: opiniões dos “*experts*” e estimações de séries históricas.

A volatilidade a ser usada deveria ser calculada a partir de dados históricos de projetos com o mesmo tipo de risco. Entretanto, mesmo por grandes empresas com funções financeiras sofisticadas, sempre é utilizada a mesma taxa de desconto para projetos com diferentes riscos.

Para o caso base utilizou-se um valor de 20% aa tanto para a incerteza referente ao Valor Presente dos Benefícios quanto para o Valor Presente dos Custos.

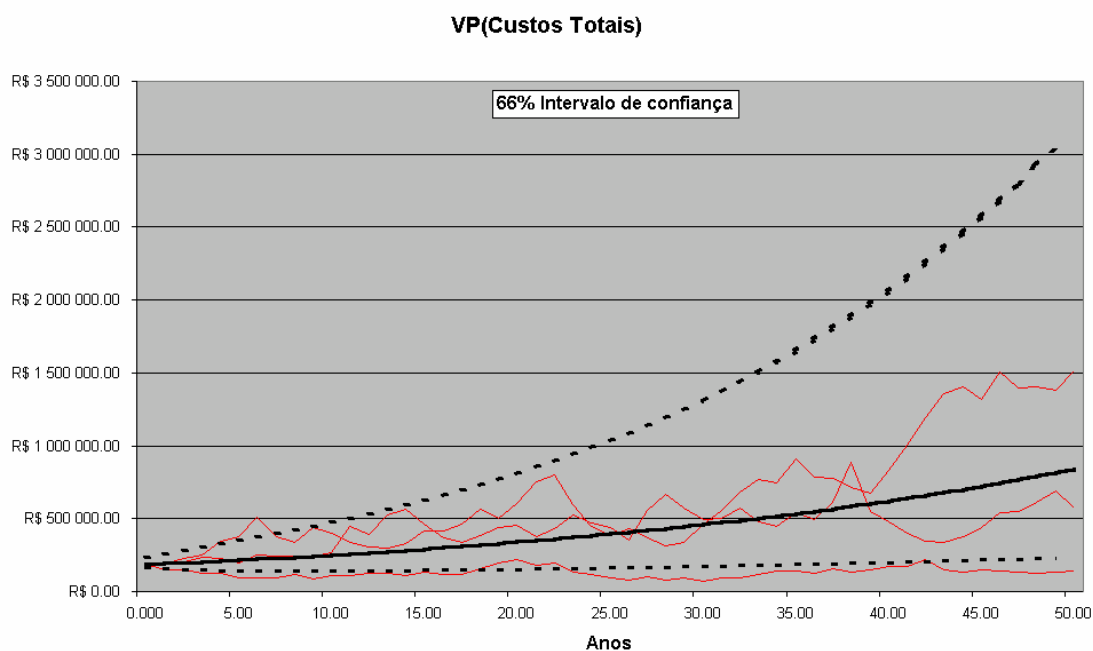
A **Figura 2** apresenta uma simulação *real*^{vi} do valor presente dos benefícios totais do PROVABASE considerando uma volatilidade de 20%aa.

Figura 2: Simulação real do valor do projeto PROVABASE, 2002 – 2051



A **Figura 3** Apresenta a simulação *real*^{vii} dos custos esperados do PROVABASE considerando uma volatilidade de 20% aa.

Figura 3: Simulação real do valor do projeto PROVABASE, 2002 – 2051



O valor do PROVABASE para o caso base apresentou, pela metodologia das Opções Reais, um resultado 9.5% maior do que o fornecido pela teoria do VPL (**Quadro 1**).

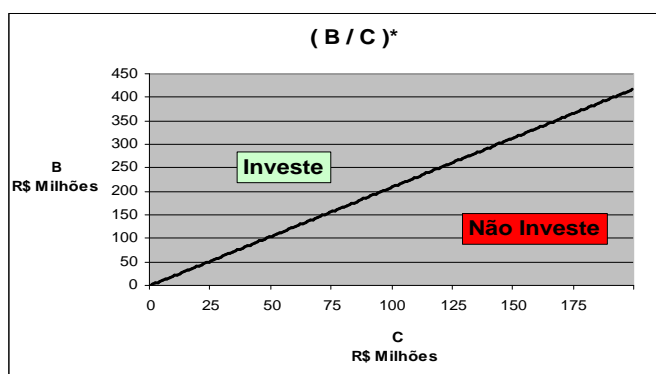
Quadro 1: Projeto PROVABASE - Resultado com 20% de volatilidade (Caso Base), 2002 – 2051

METODOLOGIA	PROVABASE
Opções Reais (milhões)	R\$ 121
VPL (milhões)	R\$ 110
Valor Adicionado	(+9.5%)

O momento ótimo de exercício da opção ocorre quando o razão Benefício/Custo atingir 2.09. A razão atual é 1.59 e, portanto, o investimento deve ainda ser postergado.

A **Figura 4** apresenta o gatilho ótimo de investimento imediato em relação à razão B/C.

Figura 4: Regra Ótima de Decisão



Foram realizadas análises de sensibilidade em relação a parâmetros relevantes (incertezas sobre receitas e desembolsos e custos) e obteremos o valor do projeto considerando diversas expectativas sobre os cenários econômicos e incertezas técnicas residuais.

i) Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade foi realizada considerando 2 (dois) cenários:

- 1) o aumento no custo da obra de 10% e
- 2) a diminuição em 10% nos preços de mercado para os produtos agrícolas

O **Quadro 2** abaixo sintetiza os resultados.

Quadro 2: Projeto PROVABASE - Resultados da análise de sensibilidade em dois cenários, 2002 – 2051.

METODOLOGIA		<i>Caso base</i>	<i>Cenário 1</i> (+ 10% no custo)	<i>Cenário 2</i> (- 10% na Irrigação)
Opções (milhões)	Reais	R\$ 121	R\$ 111	R\$ 108
VPL (milhões)		R\$ 110	R\$ 92	R\$ 93
Valor Adicionado		+9.5%	+ 20%	+16%
B/C atual		1.59	1.44	1.5

Observe que quanto menor o grau de *moneyness* da opção (razão Benefício/Custo), mais a opção adiciona valor em comparação ao VPL.

ii) Volatilidade do valor do projeto

O parâmetro da volatilidade é fundamental em teoria das opções. A seguir realizamos uma análise de como o valor do projeto V se modifica em função de mudanças em sua respectiva volatilidade^{viii}.

Quadro 3: Projeto PROVABASE - Resultados em função da variação da volatilidade, 2002 – 2051.

METODOLOGIA		<i>Volatilidade</i> 10%	<i>Volatilidade</i> 20% <i>Caso base</i>	<i>Volatilidade</i> 30%
Opções (milhões)	Reais	R\$ 113	R\$ 121	R\$ 133
VPL (milhões)		R\$ 110	R\$ 110	R\$ 110
Valor Adicionado		+2.6%	+ 9.5%	+20.5%

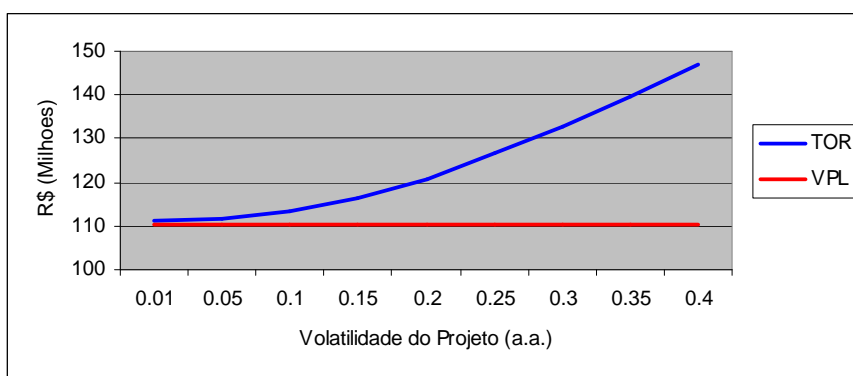
B/C ótimo	1.8	2.09	2.53
------------------	------------	-------------	-------------

Fonte: JICA (2000)

Observe que o aumento da volatilidade do valor do projeto aumenta a razão Custo/Benefício ótimo para investimento imediato.

A **Figura 5** mostra como o valor do projeto se modifica com um aumento na sua volatilidade. Observe que quanto maior o grau de incerteza maior o valor agregado pela opção como era esperado. Este fato deve-se a característica fundamental das opções de limitar as perdas juntamente com a possibilidade de ganhos ilimitados.

Figura 5: Opção x Volatilidade



5. Conclusões

A Teoria de Opções Reais - TOR quantifica projetos de investimentos de grande porte e sujeitos às mais diversas fontes de incertezas em seus fluxos de benefícios e/ou custos quando existe flexibilidade gerencial para reagir a essas mudanças inesperadas nos cenários econômicos.

Devido a essa flexibilidade a TOR proporciona avaliações que por vezes superam em muito a metodologia de VPL na quantificação de valores considerados intangíveis, mas de importância estratégica para a empresa.

A mencionada abordagem de Opções Reais para análise de investimentos está sendo cada vez mais utilizada em estudos de viabilidade econômica em grandes corporações e grandes investimentos na atualidade.

Grandes projetos, envolvendo recursos consideráveis, possuem, como maior fonte de valor, a opção de espera (opção de *timing*) que se baseia na idéia de sempre esperar por melhores condições para o comprometimento do capital, principalmente em um investimento de características irreversíveis.

O referente estudo mostra que a análise do projeto pela abordagem estática e tradicional de fluxo de caixa descontado (Valor Presente Líquido – VPL), embora sempre útil em uma primeira análise, via de regra deprecia o valor do investimento em comparação a aplicação da Teoria das Opções, uma vez que o VPL não é capaz de captar os benefícios advindos da flexibilidade de se adiar o investimento, ou seja, a capacidade de se esperar por melhores momentos para iniciar o investimento.

A avaliação do PROVABASE pela Teoria das Opções Reais permite quantificar a flexibilidade advinda da opção de espera e adiamento do projeto. Para o caso base, o valor do PROVABASE aumentou em praticamente 10% em relação ao estimado pela metodologia tradicional de Valor Presente Líquido. Esse aumento só não foi mais pronunciado, devido ao PROVABASE já apresentar elevada razão benefício/custo o que se traduz em linguagem financeira ao dizer que a opção estar muito *deep-in-the-money*.

Diversas sugestões podem ser consideradas em desenvolvimentos futuros para melhor adaptar o modelo a realidade.

A principal consiste em relaxar a suposição de opção perpétua. Para isso, recai-se em soluções numéricas, como por exemplo, o método das diferenças finitas mostrado em Ames(1977) ou Smith (1971), ou ainda, simulações de Monte Carlo para opções americanas como Grant, Vora e Weeks (1996) e Grant, Vora e Weeks (1997).

Outra eventual contribuição baseia-se na análise dos possíveis investimentos sequenciais que seriam implementados após o projeto inicial. Desta forma, a opção de investimento no projeto pode ser considerada uma opção composta que além dos fluxos de benefícios adquiridos, após seu exercício, fornece, adicionalmente, o direito de investir em novo projeto e receber os respectivos fluxos de caixa futuros. Na literatura de Finanças, artigos como Geske (1979) e Carr (1988) abordam este tipo de problema.

Finalmente, faz-se necessário uma estimação de mercado para o parâmetro de volatilidade, especialmente com relação aos benefícios gerados pelo projeto. Uma solução possível seria a estimação através de séries históricas de ações de empresas consideradas uma “*proxy*” no mercado, ou seja, um ativo base negociado e precificado que possua grau de risco similar ao projeto em questão.

BIBLIOGRAFIA

Ames, W. F.(1977). *Numerical Methods for Partial Differential Equations*. Great Britain. Academic Press, INC.

Black,F., Scholes, M. (1973). *The pricing of options and corporate liabilities*. Journal of Political Economy 81, p.637-654.

Carr, P. (1988). *The valuation of sequential exchange opportunities*. Journal of Finance 43, no.5: 1235-1256.

Dixit, A. and Pindyck, R.(1994). *Investment Under Uncertainty*. Princeton. New Jersey. Princeton University Press.

Geske, R. (1979). *The valuation of compound options*. Journal of Financial Economics 7, no.1: 63-81.

Grant, Vora and Weeks (1996). "Simulation and the Early-Exercise Option Problem"*The Journal of Financial Engineering, Vol 5, No 3*.

Grant, Vora and Weeks. (1997). "Path-Dependent Options : Extending the Monte Carlo Simulation Approach" *Management Science, Vol 43 No 11, November*.

JICA/SEPLANTEC (2000): Estudo sobre Desenvolvimento de Recursos Hídricos no Estado de Sergipe. Relatório Final. Sumário. Aracaju – SE.

McDonald,Robert and Daniel Siegel. (1986). "The Value of Waiting to Invest".Quarterly Journal of Economics (November):101. pp:707-728

Merton, R.C. (1973). *Theory of rational option pricing*. Bell Journal of Economics and Management Science 4, no. 1: 141-183.

Smith, G.D. (1971). *Numerical Solution of Partial Differential Equations*. Oxford Mathematical Handbooks. Great Britain. Oxford University Press.

Trigeorgis, L.(1996). *Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*. United States of America. The MIT Press.

Apêndice A: O Modelo de McDonald e Siegel (1986)

McDonald and Siegel (1986) desenvolveram um modelo de avaliação de opção perpétua de investimentos onde tanto o valor do projeto quanto seu custo são incertos e evoluem segundo um processo geométrico browniano.

Seja V e I , respectivamente o valor e o custo do projeto dados pela equação diferencial estocástica “neutro ao risco” Eq. 4 e 5 repetidas abaixo, onde dz e dw incrementos de Wiener de correlação ρ .

McDonald and Siegel (1986) demonstra que a opção de investimento perpétua $F(V,I)$ é dada por:

$$\begin{aligned} \frac{dV}{V} &= (r - \delta_V) dt + \sigma_V dz \\ \frac{dI}{I} &= (r - \delta_I) dt + \sigma_I dw \\ F(V,I) &= \left(\left(\frac{V}{I} \right)^* - 1 \right) \cdot I \cdot \left(\frac{V}{I \left(\frac{V}{I} \right)^*} \right)^\beta \end{aligned}$$

Caso $(V/I) < (V/I)^*$

Caso $(V/I) > (V/I)^*$

$$F(V,I) = (V - I)$$

Onde:

$$\begin{aligned} \left(\frac{V}{I} \right)^* &= \frac{\beta}{\beta - 1} \\ \beta &= \left(\frac{1}{2} - \frac{(\delta_I - \delta_V)}{\sigma^2} \right) + \sqrt{\left(\frac{(\delta_I - \delta_V)}{\sigma^2} - \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{2 \cdot \delta_I}{\sigma^2}} > 1 \\ \sigma^2 &= \sigma_V^2 + \sigma_I^2 - 2 \cdot \rho \cdot \sigma_V \cdot \sigma_I \end{aligned}$$

Apêndice B

< Fluxo de Caixa do Projeto >

Anos	Custo				Benefício			Fluxo de Caixa Líquido
	Investimento	Recomposição	O&M	Total	D&I Agua	Irrigação	Total	
2002	3,667	0	0	3,667	0	0	0	-3,667
2003	3,667	0	0	3,667	0	0	0	-3,667
2004	29,209	0	0	29,209	0	0	0	-29,209
2005	84,114	0	0	84,114	0	0	0	-84,114
2006	57,289	0	0	57,289	0	0	0	-57,289
2007	0	0	2,767	2,767	861	839	1,700	-1,067
2008	0	0	2,767	2,767	1,685	10,456	12,141	9,374
2009	0	0	2,767	2,767	2,527	21,661	24,188	21,421
2010	0	0	3,271	3,271	3,477	28,333	31,810	28,538
2011	0	0	4,296	4,296	6,336	30,489	36,824	32,529
2012	0	0	4,296	4,296	9,257	30,911	40,168	35,873
2013	1,366	0	4,296	5,662	12,240	30,444	42,684	37,022
2014	21,277	0	4,925	26,202	15,285	30,505	45,791	19,588
2015	1,411	1,326	6,029	8,766	18,393	30,505	48,898	40,132
2016	21,959	1,326	6,029	29,314	21,517	30,505	52,022	22,708
2017	0	0	7,037	7,037	26,955	30,505	57,460	50,423
2018	0	0	7,730	7,730	31,363	30,505	61,868	54,138
2019	0	0	8,359	8,359	35,855	30,505	66,360	58,000
2020	0	367	8,359	8,726	40,431	30,505	70,936	62,210
2021	0	7,222	8,359	15,582	40,431	30,505	70,936	55,355
2022	0	0	8,359	8,359	40,431	30,505	70,936	62,577
2023	0	0	8,359	8,359	40,431	30,505	70,936	62,577
2024	0	0	8,359	8,359	40,431	30,505	70,936	62,577
2025	0	1,326	8,359	9,685	40,431	30,505	70,936	61,251
2026	0	1,326	8,359	9,685	40,431	30,505	70,936	61,251
2027	0	0	8,359	8,359	40,431	30,505	70,936	62,577
2028	0	0	8,359	8,359	40,431	30,505	70,936	62,577
2029	0	2,484	8,359	10,843	40,431	30,505	70,936	60,093
2030	0	0	8,359	8,359	40,431	30,505	70,936	62,577
2031	0	2,703	8,359	11,062	40,431	30,505	70,936	59,874
2032	0	0	8,359	8,359	40,431	30,505	70,936	62,577
2033	0	0	8,359	8,359	40,431	30,505	70,936	62,577
2034	0	0	8,359	8,359	40,431	30,505	70,936	62,577
2035	0	6,901	8,359	15,261	40,431	30,505	70,936	55,675
2036	0	13,757	8,359	22,116	40,431	30,505	70,936	48,820
2037	0	0	8,359	8,359	40,431	30,505	70,936	62,577
2038	0	0	8,359	8,359	40,431	30,505	70,936	62,577
2039	0	0	8,359	8,359	40,431	30,505	70,936	62,577
2040	0	0	8,359	8,359	40,431	30,505	70,936	62,577
2041	0	0	8,359	8,359	40,431	30,505	70,936	62,577
2042	0	0	8,359	8,359	40,431	30,505	70,936	62,577
2043	0	0	8,359	8,359	40,431	30,505	70,936	62,577
2044	0	2,484	8,359	10,843	40,431	30,505	70,936	60,093
2045	0	10,042	8,359	18,402	40,431	30,505	70,936	52,534
2046	0	12,745	8,359	21,105	40,431	30,505	70,936	49,832
2047	0	0	8,359	8,359	40,431	30,505	70,936	62,577
2048	0	0	8,359	8,359	40,431	30,505	70,936	62,577
2049	0	0	8,359	8,359	40,431	30,505	70,936	62,577
2050	0	367	8,359	8,726	40,431	30,505	70,936	62,210
2051	-14,102	-19,784	8,359	-25,526	40,431	30,505	70,936	96,463

ⁱ Alguns exemplos atuais de grandes corporações que aplicam Opções Reais para estudos de viabilidade econômica são: General Motors, COMPAQ, HP, British Petroleum, Pfizer Inc, McKinsey & Co., Chevron Corporation, BHP Billiton, Schering Plough, J.P. Morgan, dentre muitos. Para maiores detalhes ver: www.realoptions.org

ⁱⁱ *Análise de valor* é uma técnica que procura detalhar e valorar as diversas funções dos componentes de um projeto ou produto, verificando se o custo de cada função, está compatível com sua importância. O objetivo é obter reduções de custo se a função não for muito importante e/ou tiver um alto custo.

ⁱⁱⁱ Como exemplo, um horizonte de tempo 10 anos pode ser razoavelmente visto como infinito.

^{iv} O custo de oportunidade do projeto equivale ao fluxo de benefício perdido por não se deter o projeto e sim apenas a opção de investimento.

^v Compreendendo os fluxos de caixas referentes à fase I e II no período de 2002 até 2051.

^{vi} A simulação real só tem efeito ilustrativo uma vez que para o cálculo da opção utiliza-se o processo neutro ao risco devido às condições de não-arbitragem.

^{vii} Idem à nota anterior.

^{viii} Considerando o caso base em que a volatilidade dos custos é fixa em 20%aa.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.