

O Valor da Opção de Preservação do Parque dos Manguezais em Recife-PE: Uma Utilização do Método de Opções Reais

Guilherme Nunes Martins
Andrea Sales Soares de Azevedo Melo

Universidade Federal de Pernambuco (PIMES/UFPE), Recife, Brasil

Resumo

Resumo

Neste trabalho o método de opções reais foi utilizado, em confronto com o do valor presente líquido, para avaliar se uma parte do Parque dos Manguezais, em Recife-PE, maior área de manguezal urbano do mundo, deve ou não ser utilizada para construção de uma rodovia, se sua totalidade deve ser vendida para o setor imobiliário, ou se o parque deve continuar sendo preservado. Foi assumido que o seu valor econômico total, estimado pelo método de valoração contingente, é incerto e segue um processo estocástico do movimento geométrico Browniano. A estimativa da volatilidade do valor do parque foi obtida através da análise de Monte Carlo. A decisão da sociedade de preservá-lo ou não foi modelada utilizando a ferramenta matemática da programação dinâmica. Os resultados permitiram concluir que as opções reais preenchem as lacunas do método de avaliação tradicional, que a preservação é uma escolha ótima e que, diante da imposição de construção da via Mangue, que esta seja de feita de forma suspensa, utilizando tecnologia poupadora de manguezal.

Palavras-chave: Parque dos Manguezais, Decisão sob Risco e Incerteza, Preservação
Classificação JEL: D60, D74, D81, Q26

Resumo

Abstract

In this work the real options method was used in the confrontation with the net present value method, to assess whether a part of the park of mangroves in Recife, Pernambuco, greater urban area of mangrove in the world, should be used for construction of a highway, where a whole must be sold to real estate, or whether the park should still be preserved. It was assumed that the total economic value, estimated by the contingent valuation method, is uncertain and follow a stochastic process the geometric Brownian motion. The estimate of volatility in the value of the park was obtained through analysis of Monte Carlo. The company's decision to preserve it or not was modeled using a mathematical tool of dynamic programming. The results showed that the real options fill the gaps in the traditional method of evaluation, that

conservation is an excellent choice and that, before the imposition of building the via Mangue, that this is done on a suspended way, using technology-sparing mangrove.

1. Introdução

O principal foco da literatura sobre valoração econômica ambiental tem sido estabelecer as bases econômicas que propiciem a tomada de decisão no âmbito da gestão ambiental, quanto ao uso ou preservação de um determinado recurso natural (Kassar e Lasserre 2004). Ou seja, atribuir valor a um determinado ativo ambiental a fim de que ele possa se tornar comparável monetariamente, permitindo ao decisor medir o tamanho do impacto que uma ação causará ao meio ambiente. Conforme Ortiz (2003) esta é a forma usual para inserir o meio ambiente de maneira mais realista às estratégias de desenvolvimento econômico.

Como os ativos ambientais possuem interesses conflitantes, cabe aos órgãos do governo a realização de uma avaliação que vislumbre os benefícios e custos para toda sociedade, o que só é alcançado através de uma Avaliação Social de Projetos (ASP) que é diferente da análise puramente privada porque considera o proveito social do projeto (Buarque (1984); Contador (2000)). Para Brito (2003) fazer ASP é a arte do possível, pois, dificilmente a avaliação conseguirá contemplar todas as variáveis existentes na situação. Entretanto, é a ASP que tornará possível a aplicação da teoria do bem-estar no processo de tomada de decisão.

Neste contexto de avaliação social, a valoração econômica ambiental tem duas etapas que claramente definem a utilização de instrumentos distintos: na primeira identificam-se os métodos para obtenção do valor monetário do recurso ambiental; e na segunda identificam-se os métodos que atualizam este valor que representa o fluxo de benefícios proporcionado pelo ativo ambiental, geralmente *ad eternum*. Tanto na primeira quanto na segunda etapa as particularidades do recurso ambiental ditam os instrumentos a serem utilizados.

Este artigo se insere no âmbito dos trabalhos que se desenvolvem na segunda etapa da valoração, com a proposição da utilização da Teoria das Opções Reais (TOR) para avaliar alternativas para o Parque dos Manguezais, em Recife-PE, maior área urbana de mangue do mundo. Argumenta-se que este método preenche as lacunas deixadas pelo método tradicional do Valor Presente Líquido (VPL) ao incluir flexibilidade gerencial à tomada de decisão. Conforme Copeland e Antikarov (2001, p. 74) a abordagem do VPL “*está restrita a um compromisso antecipado, aceito hoje, de ir em frente ou não*”, que “*utiliza apenas as informações disponíveis hoje*”, já as opções reais pressupõem que as

* Recebido em novembro de 2007, aprovado em dezembro de 2008. Agradecemos as sugestões dos Professores Dr. Yony de Sá Barreto Sampaio (PIMES/UFPE) e Dr. Wellington Ribeiro Justo (URCA). Qualquer erro e/ou omissões são nossos.
E-mail address: guilhermenmartins@ubbi.com.br.

decisões serão tomadas à medida que as informações externas são reveladas, ou seja, ao longo do tempo com base nos novos dados.

O que significa dizer que a TOR incorpora à ASP elementos como a incerteza, a irreversibilidade do investimento, e o *timing*, todos comuns a projetos de investimentos, principalmente os relacionados a ativos ambientais, mas, que são deixados de lado pela metodologia de avaliação tradicional – o *VPL* (Dixit e Pindyck 1994).

Dixit e Pindyck (1994) ressaltam três tipos de incerteza com potencial de ocorrência em projetos de investimentos:

- (i) a econômica, que está relacionada aos movimentos da economia e que valorizam a espera por informações externas (*“learning by waiting”*);
- (ii) a técnica, que incentiva o investimento sequencial, para revelar o verdadeiro cenário e reduzir a sua variância (*“learning by doing”*); e
- (iii) a estratégica, que está relacionada à ação de outras empresas no mercado, podendo adiantar ou adiar os investimentos planejados.

O conceito de irreversibilidade do investimento, que pode ser total ou parcial, vem dos trabalhos de Arrow e Fisher (1974) e Henry (1974); e estabelece que se deva valorizar a espera antes de se tomar uma decisão irreversível, pois, a espera sim é reversível, ou seja, a qualquer momento é possível exercer o direito que possui. Sua aplicação ao meio ambiente é significativa, pois, contribui com o argumento de desenvolvimento sustentável.

No que se refere ao *timing*, pode-se dizer que raramente um investimento é do tipo “agora ou nunca”. Ou seja, é muitas vezes possível que se postergue uma decisão para se observar novas informações. No caso de ativos ambientais cuja importância (valor) é incerta, uma decisão equivocada pode ocasionar perdas irreversíveis. Fisher e Hanemann (1986), baseados nestes elementos, mostraram que existe um prêmio pela espera no uso de um bem ambiental.

Não se pode falar em opções reais sem mencionar Black e Scholes (1973) e Merton (1973), os pioneiros, que em seus trabalhos sobre avaliação de investimentos, valoraram uma opção com técnicas direcionadas para resolver problemas de incerteza.

Entretanto, a utilização, pela primeira vez do termo opções reais, foi feita por Myers (1977) se referindo à aplicação da teoria da precificação de opções, para avaliar investimentos em ativos não-financeiros, reais ou produtivos, em lugar de ativos financeiros ou *commodities*. E a primeira aplicação quantitativa da TOR foi feita por Tourinho (1979), que avaliou a opção de explorar ou não uma jazida de recursos naturais.

Este trabalho é baseado em análises que aplicaram a TOR em diferentes situações de tomada de decisão relacionadas a ativos ambientais, como Reed (1993) que utilizou a TOR para verificar se uma floresta deveria ser preservada; Chambers et alii (1994) que determinaram o valor de opção que possibilitasse a troca de dívidas por natureza; Zinkhan (1991) que estimou o valor da opção de conversão de uso de uma área florestal que produzia madeira para construção e de lei; Conrad (1997) que construiu um modelo de opção e aplicou para a

Floresta Headwaters; e Forsyth (2000) que também utilizou tais conceitos para verificar se um ativo ambiental deveria ser preservado ou não, estes dois últimos fundamentais.

Apesar do método tradicional¹ ainda ser bastante utilizado, seus resultados são pouco confiáveis sob incerteza; ou porque deixam de considerar parcelas significativas do projeto (Trigeorgis 1995); ou porque subestimam todos os valores do projeto, comprometendo o investimento (Copeland e Antikarov 2001). Além disso, as abordagens externas e complementares,² mesmo contornando parte do problema, não o fazem de forma adequada.

Diferentemente, as opções reais consideram as incertezas e também as flexibilidades gerenciais e estratégicas, para responder qual o valor de oportunidade do projeto e qual a decisão ótima a ser tomada. Estas duas questões podem ser vistas como um problema de otimização que visa maximizar o valor do projeto, através do gerenciamento das flexibilidades, o que faz uma grande diferença e pode mudar facilmente a decisão.

O valor ambiental que esta pesquisa busca projetar é o valor previamente estimado para o fluxo anual de benefícios advindos de uma área de mangue urbano da cidade do Recife-PE, o Parque dos Manguezais que evolui estocasticamente conforme o movimento geométrico Browniano. Tratam-se, na verdade, de dois valores, ambos resultantes de uma mesma pesquisa de campo com a aplicação do Método de Valoração Contingente (MVC). O primeiro valor foi estimado por Leite e Melo (2005), a partir da utilização de um modelo de regressão *logit*; e o segundo foi estimado por Leite (2006), a partir de um modelo de regressão beta.³

Em relação ao Parque dos Manguezais é importante frisar que ele representa um dos últimos resquícios de mangue bem preservado da cidade do Recife que cresceu, desde os seus primórdios, sobre o aterramento⁴ destas áreas mangue, continuando até os dias atuais, remanescendo apenas estreitas áreas deste ecossistema, as quais, na maioria das vezes, sofrem ameaças de deterioração, tanto pelo depósito do lixo como pela favelização espontânea (RECIFE 2004). O parque também sofre pressão especuladora das empresas do mercado imobiliário que planejam construir grandes condomínios no local (Carvalho 2000). Entretanto, a “grande vilã” e motivadora da realização desta pesquisa⁵

¹ Neste trabalho, a menção tradicional diz respeito ao método de avaliação de investimento do *VPL*.

² Análises de sensibilidade, cenários, taxas de descontos ajustadas e árvore de decisão são as principais utilizadas para contornar as deficiências apresentadas pelo método tradicional.

³ Modelo proposto por Ferrari e Cribari-Neto (2003) que serve como uma alternativa aos modelos binários. É adequado para situações em que a variável resposta é medida continuamente no intervalo [0 1]. Sua distribuição é muito flexível para modelagem de proporções e taxas, pois, sua densidade pode assumir diferentes formas dependendo dos valores dos parâmetros que indexam a distribuição de probabilidade. Pode resolver o problema de valorar bens que **não possuem um mercado estabelecido** (Fórum de Seminários de Estatística UFPB).

⁴ Estes aterramentos aconteceram principalmente a partir da invasão holandesa (em 1630), quando se iniciou um forte processo de urbanização da cidade.

⁵ Os autores agradecem ao CNPq pela oportunização da pesquisa através do Edital Universal.

é a proposta da Prefeitura da Cidade do Recife (PCR) de construir uma rodovia para desafogar o trânsito entre as zonas norte e sul.

A proposta inicial de intervenção da PCR, lançada em fevereiro de 2004, previa a construção de uma via (Via Mangue) que comprometeria 4,4 ha do parque e seria construída de forma suspensa com custo estimado em R\$ 178 milhões. Entretanto, a fim de reduzir os custos, foi apresentada uma nova proposta (outubro de 2006) que prevê a utilização de 25,4 ha do parque caracterizada por aterramento de áreas de mangue com custo estimado em R\$ 126 milhões (↓29%). Como o parque tem uma grande importância ambiental, buscou-se identificar uma razão econômico-científica que justificasse sua preservação ou a construção da rodovia de forma suspensa, com menor área de aterramento causando um menor dano ambiental.

Do ponto de vista social, deve-se ressaltar o grande contingente populacional que depende economicamente da pesca no Parque dos Manguezais, como destacam os estudos recentes realizados pela prefeitura do estado (RECIFE 2004). Aliás, é importante destacar que a oferta de mariscos de uma forma geral oriundos do mangue tem diminuído no decorrer do tempo; sendo comum hoje a importação de produtos pesqueiros de outros estados do Nordeste, para compensar uma pesca da qual Recife já foi pródiga (Barros 2001). Estes efeitos físicos constituem os danos que a sociedade está suportando pela modificação da qualidade ambiental. Determinar se este dano é maior ou menor do que o seu custo de oportunidade é questão importante que, segundo Bishop et alii (1995), a teoria econômica precisa resolver; o que é exatamente o que se pretende fazer com esta pesquisa: determinar se o dano ambiental é maior ou menor do que a economia financeira na construção aterrada.

O trabalho está dividido em cinco seções, sendo a primeira esta Introdução. A segunda seção traz uma caracterização do Parque dos Manguezais, ativo ambiental avaliado, abordando sua área, localização e principais características sócio-econômicas.

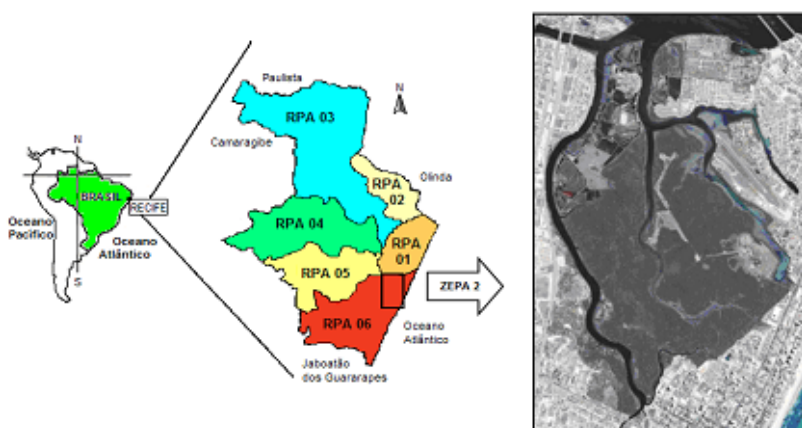
A Seção três descreve a metodologia de pesquisa, com os procedimentos necessários para verificar a sua hipótese básica de que existe um valor de opção associado ao Parque dos Manguezais que justifica a construção de uma via rodovia suspensa. Neste sentido, em primeiro lugar foi calculado o valor crítico (gatilho) do parque que foi obtido por programação dinâmica com solução analítica de uma equação diferencial (Equação de Bellman), restringida pelas condições de contorno que garantem decisões ótimas e limites. Para observação do custo de oportunidade, foram calculados valores do parque e seu custo de aterramento para construção da rodovia, este somado ao custo privado da obra.

Os resultados obtidos são apresentados na Seção quatro. Na Seção cinco apresentam-se as principais conclusões, a relevância do trabalho do ponto de vista social e para economia do meio ambiente, contribuições, limitações e perspectivas para novas pesquisas.

2. O Parque dos Manguezais⁶

O Parque dos Manguezais está localizado na porção sul da cidade do Recife, entre os bairros de Boa Viagem e do Pina, numa área conhecida como antiga “Estação Rádio Pina” da Marinha do Brasil. Possui uma área total de 307,83 ha equivalente a 3.078.000 m².

O parque possui aspecto essencialmente aquático, com manguezais e ilhas envolvidas por braços dos rios Jordão e Pina, mas com influência de outros dois rios: Tejipió e Capibaribe. Segundo a PCR (RECIFE 2004): “o espaço urbano do Parque dos Manguezais encontra-se ainda bem conservado e pode ser considerado um verdadeiro santuário ecológico”. A Figura 1 mostra a situação geografia desta área de mangue.



Fonte: A partir de Recife (2004).

Figura 1. Situação da ZEPa 2 – Parque dos Manguezais

Como é possível observar, o Parque está espremido numa área bastante edificada, próxima à beira mar de Recife, localização bem valorizada da cidade,⁷ situação que faz aumentar a pressão sobre o parque do setor imobiliário.

A área do Parque dos Manguezais encontra-se intacta devido ao fato de ter sido, na década de 1940 durante a II Guerra Mundial, o local escolhido pelos americanos para implantar uma Estação Rádio, que posteriormente passou ao controle da Marinha do Brasil. A partir de então, a Armada brasileira manteve a Estação Rádio Pina com a finalidade de executar e dirigir serviços especiais de comunicações para a força até os anos 1990, quando então desativou a

⁶ Texto composto predominantemente por um resumo do Relatório de Diagnóstico Zona Especial de Preservação Ambiental – ZEPa 2, da PCR (RECIFE 2004).

⁷ Esta área possui o m² mais caro do Recife.

Organização Militar. Entretanto, até hoje a Marinha continua protegendo o local de potenciais invasões e ocupações com efetivos regulares de serviço diário na região.

O Parque dos Manguezais tem seu entorno composto por dez comunidades de ocupação espontânea, conforme mostra a Figura 2.



Fonte: Elaboração própria a partir do Google Earth® 2007.

Figura 2. Comunidades do entorno do Parque dos Manguezais

São as seguintes as comunidades: Bacardi, Ilha de Deus, Beira Rio, Bode, Valdir Pessoa, Ilha do Destino, Deus nos Acuda, Xuxa, Pantanal e Paraíso (Figura 2). Em média, 10,4% das pessoas que vivem nessas comunidades não têm qualquer rendimento. Além disso, 58% do pessoal remunerado recebem até dois salários mínimos por mês, média bastante incompatível com a região em que estão enquadradas, alarmante se comparada a média de salários do bairro de Boa Viagem, principal beneficiado com a construção da rodovia (RECIFE 2004).

A PCR estima em 10 mil a quantidade de pessoas que ocupa o entorno do parque, número que cresce em detrimento do mangue que está sendo aterrado para dar lugar aos novos barracos, comprometendo os limites do ecossistema (Favelas 2004).

A região é explorada por moradores da comunidade de Ilha de Deus para a prática da carcinicultura marinha, cujos diques dos viveiros são construídos com o material disponível no próprio mangue, sem qualquer separação dos resíduos

sólidos e demais dejetos. De um modo geral, a qualidade da água dos viveiros não é muito boa, do ponto de vista bacteriológico, e a condição sanitária do produto deixa a desejar apesar de obtidas altas produtividades.

3. Metodologia

Trata-se de uma análise quantitativa, em que se busca verificar a existência de um valor do Parque dos Manguezais que justifique a opção de sua preservação. Para isto, existem duas hipóteses associadas:

- (i) o uso da metodologia de avaliação com base na teoria de opções reais (TOR) é uma alternativa aos problemas apresentados pelo método tradicional do valor presente líquido (*VPL*), porque incorpora flexibilidade à tomada de decisão; e
- (ii) as disposições a pagar (DAP)⁸ médias estimadas por Leite e Melo (2005) e Leite (2006), pelo método de valoração contingente (MVC),⁹ para expressar a preferência dos consumidores recifenses pelo parque em relação a via Mangue, são suficientes para justificar sua preservação.

No caso da primeira hipótese, no uso da TOR, calcula-se inicialmente o *VPL* do parque pertencente à sociedade. Em seguida, partindo do pressuposto de que o seu valor segue um movimento geométrico Browniano, procede-se com a estimação da volatilidade desse valor através da análise de Monte Carlo utilizando o programa Crystal Ball sobreposto a uma planilha eletrônica Microsoft Office Excel. Conforme os valores obtidos, calcula-se o valor crítico do Parque dos Manguezais. Este valor crítico é obtido por programação dinâmica,¹⁰ através da solução da equação diferencial parcial (EDP), que é simplificada para uma equação diferencial ordinária (EDO), devido ao fato de tratar-se de uma opção perpétua e que por isso o tempo t deixa de ser relevante como variável de estado.¹¹ A Equação de Bellman resultante é restringida pelas condições de contorno e seus limites.

Para verificar a segunda hipótese, buscou-se determinar o custo de oportunidade da preservação do parque (não uso) conforme as alternativas

⁸ Conforme Pearce e Turner (1990) o conceito de DAP fornece um indicador monetária automático das preferências dos consumidores. Neste caso, as pessoas revelam suas preferências limitadas por suas restrições orçamentárias, ocorrendo assim diferentes DAP para o mesmo bem em questão conforme características do consumidor entrevistado. Geralmente a DAP é utilizada para questionar sobre os benefícios ambientais recebidos.

⁹ O MVC utiliza pesquisas amostrais para identificar, em termos monetários, as preferências dos consumidores em relação a bens que não são comercializados em mercados. No caso da valoração econômica ambiental, pergunta-se as pessoas quanto estariam dispostas a pagar por variações no meio ambiente (Ortiz 2003).

¹⁰ Conforme Dixit e Pindyck (1994) é a ferramenta de otimização dinâmica ideal para avaliação de ativos não replicáveis (com mercado incompleto) que divide toda seqüência de decisões em apenas duas: uma imediata e uma função de valoração que engloba as conseqüências de todas as decisões subsequentes.

¹¹ Quando o horizonte de tempo é infinito, não há um valor final para iniciar a indução retroativa. Neste caso, torna-se um problema recursivo, o que facilita a solução da equação diferencial resultante que perde a influência do tempo (Dixit e Pindyck 1994).

de conversão de uso do mangue existentes: venda para o mercado imobiliário e construção da rodovia. Desta forma, procede-se à comparação desses valores com o *VPL* e com o valor crítico encontrados.

3.1. O modelo de opções reais

Seja um projeto de preservação do Parque dos Manguezais (público) com vida útil perpétua, horizonte de tempo infinito $T \rightarrow \infty$, que gera um fluxo de caixa (*FC*) anual, indefinidamente, que representam os dividendos ganhos pela sociedade, detentora do ativo ambiental, que decide mantê-lo preservado ou não, em que (δ) é a taxa desses dividendos que conforme Minardi (2004, p. 111) é determinada pela razão:

$$\delta = \frac{FC}{VP_0} = \frac{r}{(1+r)} \quad (1)$$

Segundo Minardi (2004) r denota o custo do capital que é utilizado para descontar o *FC* da série perpétua e VP_0 representa o valor da posição da sociedade (investidora) no tempo $t = 1$ (momento de espera), igual à soma do VP_1 do projeto mais o *FC* que receberia no período. A diferença é o valor do projeto postergado para t exatamente igual à entrada em caixa ocorrida durante o período t . Este efeito é análogo ao efeito dividendo de uma ação.

A sociedade exige uma taxa de retorno (ρ) para investir no projeto. O valor do Parque dos Manguezais é a incerteza que afeta os seus fluxos de caixa futuros. Entretanto, a sociedade possui alta capacidade gerencial de reagir às novas informações de mercado visando maximizar o *VPL* do parque ao longo do tempo.

Desta forma, o primeiro passo consiste na determinação do *VP* do projeto, num instante inicial t descontando-se os fluxos de caixa gerados. Como o projeto tem vida útil perpétua e foi considerado que os fluxos de caixa não cresciam ao longo do tempo, usou-se a expressão:

$$VP_0 = FC_0 + \sum_{t=1}^{\infty} \frac{FC_t}{(1+r)^t} = FC_0 + \frac{FC_T}{r} \quad (2)$$

Que representa a posição da sociedade postergando o uso do Parque dos Manguezais.¹² Além do VP_0 , foi calculado o VP_1 do período seguinte que são utilizados na simulação Monte Carlo para obtenção da volatilidade. Vale ressaltar que a incerteza do projeto é refletida somente nesse primeiro período e apenas o seu *FC* é estocástico (varia aleatoriamente).

Para elaboração do modelo da opção de preservação do Parque dos Manguezais, segue-se Conrad (1997) e Forsyth (2000), para os quais a decisão

¹² De um modo geral considera-se que não existe fluxo de caixa positivo no instante inicial, apenas os investimentos necessários, entretanto é razoável considerar que o ativo ambiental produz já no instante inicial.

de preservar ou utilizar um recurso natural é simplificada pela suposição de que o valor da utilização é uma constante conhecida, denotada por K . Este valor deve ser comparado com o valor de se receber um fluxo de benefícios anual incerto do recurso, $V = V(t)$ que segue um processo estocástico do movimento geométrico browniano (MGB),¹³ cuja forma pode ser expressa por:

$$dV = \alpha V dt + \sigma V dz \tag{3}$$

em que V é o valor do Parque, α é a taxa de atratividade, σ é a volatilidade de V , dt é variação de tempo e dz é o incremento do processo de Wiener¹⁴ com propriedades padrões.

Brandão e Cury (2005) sugerem uma forma para o cálculo da taxa de atratividade:

$$\tilde{\alpha} - \ln \left(\frac{VP_1}{VP_0} \right) \tag{4}$$

Para eles a forma utilizada por Copeland e Antikarov (2001) superestima a volatilidade (σ) – que é igual ao desvio padrão de $\tilde{\alpha}$ – e conseqüentemente o valor das opções reais.

Para o cálculo da volatilidade do valor do projeto de preservação do Parque dos Manguezais foi assumida uma única incerteza com base nas disposições a pagar (DAP) médias obtidas por Leite e Melo (2005) e Leite (2006). A distribuição de probabilidade escolhida foi a logarítmica normal, pois, considerou-se que o valor do parque nunca ficará negativo. O desvio padrão da DAP média foi utilizado como desvio padrão, o seu respectivo.

Foi assumido também, que há autocorrelação entre as DAP dos dois primeiros anos e como grandeza do coeficiente de significância (R^2) foi seguida a sugestão de Copeland e Antikarov (2001) que iguala o R^2 ao coeficiente de autocorrelação e a 90% sob o argumento de que *“erros positivos elevados no primeiro período serão muito possivelmente seguidos por erros positivos no segundo período”* Copeland e Antikarov (2001, p. 250).

O problema da decisão da sociedade pode ser visto como uma solução da equação:

$$F_t(V_t) = \max \left\{ \underbrace{\text{decisão imediata}}_K, \underbrace{\frac{1}{1+\rho} E_t [F_{t+1}(V_{t+1}|V_t)]}_{\text{decisão futura}} \right\} \tag{5}$$

¹³ Foi assumido o MGB porque o valor do Parque inclui valores de não-uso, como o valor de existência e de opção. Além disso, o MGB é razoável porque não admite valores negativos para o Parque.

¹⁴ É um tipo particular de processo Markov (em tempo contínuo) que é utilizado para fazer previsão do valor futuro de uma variável necessitando apenas de sua distribuição de probabilidade e o seu valor presente. Possui incrementos independentes e suas mudanças são normalmente distribuídas, com variância que aumenta linearmente (Dixit e Pindyck 1994).

O resultado $F_t(V_t)$ representa o *VPL* dos benefícios quando as decisões ótimas são tomadas a partir do tempo presente, ρ é a taxa de desconto exógena, K é a renda líquida resultante do uso do parque e F_t é o valor dos benefícios da preservação no período t .

A decisão da sociedade é escolher entre usar o Parque dos Manguezais agora e receber K , mas perder F_t agora e em todos os períodos futuros, ou receber V_t agora e esperar até o próximo período quando uma escolha binária similar estará disponível.

Supondo que seja impossível refazer o Parque dos Manguezais após seu aterramento, se sua preservação é a escolha ótima, como problema pode ser colocado em tempo contínuo, então, a Equação de Bellman correspondente pode ser expressa conforme:

$$\rho F(V) = V + \frac{1}{dt} E_t [dF(V)] \quad (6)$$

A Equação 6 mostra a denominação para o fluxo de caixa do valor da preservação como um recurso com valor $F(V)$. Perceba-se que $\rho F(V)$ é o retorno normal que a sociedade exigiria para assegurar o Parque dos Manguezais preservado; e a expressão do lado direito representa o fluxo imediato do benefício V mais o ganho de capital esperado. Como V segue um processo estocástico, o Lema Itô é usado para expandir $dF(V)$; para obter P :

$$P = \rho F - \left[F_t + V + \alpha V F_V + \frac{1}{2} \sigma^2 V^2 F_{VV} \right] \quad (7)$$

Segundo Forsyth (2000), a Equação de Bellman implica nos seguintes problemas de complementaridade linear:

- (i) $P \geq 0$;
- (ii) $F - K \geq 0$; e
- (iii) $P[F - K] = 0$.

Pela condição (i) o retorno necessário para preservação (ρF) menos o retorno atual não é negativo. Assim, quando $P = 0$, a preservação é uma escolha ótima, agora quando $P > 0$, significa que o retorno exigido para preservação excede o retorno atual e neste caso é preferível explorar o recurso natural. Pela condição (ii) o valor da decisão F será igual ou maior que o valor do uso. Assim, $F - K$ será igual a zero quando for ótimo construir a avenida. Já pela condição (iii) as condições (i) ou (ii) irão assegurar uma igualdade estrita. Ou seja, se $P = 0$, a preservação do parque é a escolha ótima e se $F - K = 0$ o contrário.

Trata-se de uma opção perpétua e foi assumido que o processo estocástico que modela a incerteza é o movimento geométrico Browniano, o problema de complementaridade é resolvido porque como $F_t = 0$ não depende mais de t , no estado estacionário P também é igual a zero. Em consequência a Equação Diferencial Parcial (EDP) se transforma numa Equação Diferencial Ordinária

(EDO) não homogênea de segunda ordem em que F_V e F_{VV} são as derivadas de primeira e segunda ordem da função valor $F(V)$.

A parte homogênea permite solução analítica da forma:

$$F_H(V) = AV^\beta \tag{8}$$

Substituindo a Equação 8 na Equação 7, com as demais considerações observadas e simplificando:

$$\frac{1}{2}\sigma^2\beta(\beta - 1) + \alpha\beta - \rho = 0 \tag{9}$$

com duas raízes $\beta_1 = \frac{1}{2} - \frac{\alpha}{\sigma^2} + \sqrt{[\frac{\alpha}{\sigma^2} - \frac{1}{2}]^2 + \frac{2\rho}{\sigma^2}} > 0$ e $\beta_2 = \frac{1}{2} - \frac{\alpha}{\sigma^2} - \sqrt{[\frac{\alpha}{\sigma^2} - \frac{1}{2}]^2 + \frac{2\rho}{\sigma^2}} < 0$.

Conseqüentemente, a solução da EDO é do tipo $F_H(V) = A_1V^{\beta_1} + A_2V^{\beta_2}$. Em que: A_1 e A_2 são constantes determinadas pelas condições de contorno.

Uma solução particular da Equação 7 é dada por:

$$F_P(V) = \frac{V}{(\rho - \alpha)} \tag{10}$$

Conforme Conrad (1997) esta expressão representa o valor esperado de nunca aterrar o Parque dos Manguezais. A solução para a parte homogênea $F_H(V) = A_1V^{\beta_1} + A_2V^{\beta_2}$ é então, o valor da opção de uso do parque. Assim, se V for muito grande, o valor da opção de aterramento torna-se muito pequeno. O que apenas ocorrerá se A_2 for igual a zero, caso contrário $F(0) \rightarrow \infty$ e não satisfaria $F(0) = 0$ da primeira condição de contorno, descrita na Tabela 1 abaixo que juntamente com mais duas condições de contorno asseguram que $V = V^*$.

A segunda condição é a de continuidade (*value-matching condition* – em que a opção F é exercida no instante ótimo mediante o pagamento de K), ou seja, ela simplesmente iguala o valor da preservação à receita líquida da venda do parque; e a terceira é a condição de suavidade (*smooth pasting condition* – no ótimo a curva F é tangente à curva K), como K não depende de V , a inclinação comum é zero. As duas últimas condições garantem quando o exercício antecipado da opção é ótimo.

Tabela 1
Condições de contorno para uma EDO

Tipo de condição de contorno	Condição de contorno
$V = 0$	$F(0) = 0$
$V = V^*$ (Continuidade – <i>Value matching</i>)	$F(V^*) = N$
$V = V^*$ (Suavidade – <i>Smooth pasting</i>)	$F_V(V^*) = 0$

Fonte: Dias (2005).

A solução completa da Equação 7 passa a ser a soma de $F_H(V)$ e $F_P(V)$, dada por:

$$F(V) = A_1 V^{\beta_1} + \frac{V}{(\rho - \alpha)} \tag{11}$$

Substituindo a Equação 11 nas duas últimas condições de contorno se obtém a constante $A_1 = \frac{(V^*)^{1-\beta_1}}{\beta_1(\rho-\alpha)}$ e o valor do gatilho ou valor crítico (V^*):

$$V^* = \left[\left(\frac{\beta_1}{\beta_1 + 1} \right) (\rho - \alpha) \right] K \tag{12}$$

Em que, a expressão entre colchetes é a proporção de K , que V deve assumir para que a opção seja exercida antecipadamente. É importante lembrar que o valor do gatilho dá a regra de decisão nas opções reais, ou seja, se o $V \geq V^*$ a opção deve ser exercida já.

Para não haver possibilidade de arbitragem, Dias (2005) sugere uma maneira para tornar equivalentes as otimizações sob incertezas usando os métodos dos Ativos Contingentes (*Contingent Claims Analysis*) e Programação Dinâmica. Inicialmente, é preciso que em ambos os métodos as EDP sejam deduzidas por Ativos Contingentes.

A Figura 3 mostra as mudanças necessárias para possibilitar a equivalência.

<i>Programação Dinâmica</i>	$\frac{1}{2} \sigma^2 V^2 F_{VV} + \alpha V F_V - \rho F = -F_t$
	$\begin{array}{c} \uparrow \text{Taxa de Tendência do Projeto} \quad \downarrow \text{Taxa de Desconto} \\ \downarrow \quad \uparrow \end{array}$
<i>Ativos Contingentes</i>	$\frac{1}{2} \sigma^2 V^2 F_{VV} + (r - \delta) V F_V - r F = -F_t$

Fonte: Dias (2005).

Figura 3. Equivalência de métodos de solução de opções reais

Foram necessárias duas trocas para tornar os métodos de solução equivalentes, a primeira é a troca da taxa de atratividade do projeto α por $(r - \delta)$; e a segunda é a troca da taxa de desconto ρ (exógena) por r (taxa livre de risco).¹⁵ Desta forma o valor esperado na Equação de Bellman estaria sendo obtido com probabilidades neutras ao risco e o desconto estaria sendo feito com uma taxa livre de risco. Em conseqüência a raiz β_1 passa a ser obtida por:

$$\beta_1 = \frac{1}{2} - \frac{(r - \delta)}{\sigma^2} + \sqrt{\left[\frac{(r - \delta)}{\sigma^2} - \frac{1}{2} \right]^2 + \frac{2r}{\sigma^2}} \tag{13}$$

E o valor crítico (V^*):

$$V^* = \left[\left(\frac{\beta_1}{\beta_1 + 1} \right) \delta \right] K \tag{14}$$

¹⁵ Para mais detalhes ver Dias (2005).

3.2. O custo de oportunidade do Parque dos Manguezais

A partir do *VPL* (Equação 2) e do valor de gatilho V^* (Equação 15) do Parque dos Manguezais são feitas a análise tradicional do Fluxo de Caixa Descontado (FCD) e a análise das opções reais para cada opção de uso (suspensa e aterrada). Os custos ambientais decorrente de cada opção de uso são proporcionais ao tamanho da área comprometida com o aterramento na obra.

Para o cálculo do valor do Parque dos Manguezais para o setor imobiliário é utilizado o Manual de Permuta por Área Construída da Associação das Empresas do Mercado Imobiliário de Pernambuco (ADEMI-PE), que estabelece os valores do metro quadrado (m^2) na cidade,¹⁶ baseados em negócios efetivados à vista no mercado e em consultas às tabelas da Prefeitura da Cidade do Recife, utilizadas para avaliação para cálculo do IPTU.

O método consiste em multiplicar o valor da área do terreno em m^2 , pelo valor correspondente. Considerando pagamento à vista:

$$\text{Área do Parque dos Manguezais (m}^2\text{)} \times \text{Preço do m}^2 \quad (15)$$

Para o caso de se calcular o custo de aterramento para construção da rodovia, suspensa ou não, utiliza-se o valor calculado para o m^2 do Mangue. Este custo, então, é somado ao custo privado da construção das duas opções de rodovia.

3.3. A disposição a pagar pela preservação do parque

Como já ressaltado anteriormente, duas pesquisas se encarregaram de calcular a disposição a pagar média da população recifense pela preservação do Parque dos Manguezais; ambas utilizando-se do método de valoração contingente (MVC) e baseadas nos mesmos dados de pesquisa de campo, diferenciando-se apenas os modelos utilizados, para o primeiro caso um modelo *logit* e para o segundo caso um *beta*.

Sendo assim, como Disposição A Pagar (DAP) média tem-se:

- R\$ 3,40 mensais por domicílio, conforme Leite e Melo (2005). Desvio padrão de R\$ 1,60;
- R\$ 7,05 mensais por domicílio, conforme Leite (2006). Desvio padrão de R\$ 3,14.

As disposições médias a pagar estimadas resultam em benefícios anuais de R\$ 15,33 milhões ($3,40 \times 12 \times 375.857$) para o primeiro caso; e R\$ 31.80 milhões ($7,05 \times 12 \times 375.857$) para o segundo caso. Estes montantes são decorrentes da preservação do Parque dos Manguezais, os quais serão considerados como fluxos de caixa anuais livres que a sociedade recebe.

¹⁶ Valor discriminado na Tabela de Valores de m^2 para Preços de Terrenos na Cidade do Recife, da ADEMI-PE. Disponível em http://www.ademi-pe.com.br/manuais/manual_permuta.html. Acesso em Janeiro/2007.

4. Um Mangue que Vale a Pena Ser Preservado

Os valores encontrados para o *VPL* e valor de opção do Parque dos Manguezais estão expressos na tabela seguinte. Ela expressa estes dois valores para cada uma das disposições a pagar estimadas anteriormente, as quais representam, para diferentes modelos, as disposições médias a pagar da população recifense pela preservação do Parque. O valor mais elevado mostra maior adequação do modelo à flexibilidade de escolha do consumidor (Leite 2006).

Tabela 2

VPL e valor de opção calculados para o Parque dos Manguezais

DAP	<i>VPL</i>	Valor crítico por ano	Valor crítico
Média	em milhões	em milhões	em milhões
R\$ 3,40	234,40	19,58/ano	312,97
R\$ 7,05	486,05	19,50/ano	311,60

Fonte: Elaborada pelos autores.

Para os dois casos foi utilizada uma amostra de 1.851 observações, em que 1.501 manifestaram a preferência pela preservação do Parque em questão, alternativamente à construção de uma rodovia. Do total de entrevistados 39% manifestaram a intenção de não contribuir com a preservação do ativo ambiental (Leite e Melo 2005).

A taxa de desconto utilizada no cálculo do *VPL* foi uma taxa livre de risco, considerando-se uma aplicação no mercado financeiro de renda fixa em Certificado de Depósito Interbancário (CDI),¹⁷ atualmente com rendimento 1,08%.a.m. (Janeiro/2007) descontada a inflação do mesmo período 0,557% a.m, obtém a taxa efetiva de ganho real acima da inflação, que equivale a 7,15% a.a, ou seja, $r = 7,15\% \div 0,0715$ (sem desconto de impostos). Com isso a taxa de dividendos (δ) gerados para sociedade, detentora do projeto, que é determinada pela Equação 1, para essa taxa de des-conto escolhida é igual a $\delta = 6,67\%$.

Foi obtida uma estimativa para a volatilidade do projeto, após mil interações, igual a (DAP de R\$ 3,40 $\sigma = .43\%$ e DAP de R\$ 7,05 $\sigma = 44\%$). Conrad (1997) utilizou 10% e 20% para verificar a sensibilidade do valor crítico e Forsyth (2000) 26% e 50% esta última como caso extremo para fins de análise de sensibilidade também. É importante frisar que nenhum dos autores citados utilizou dados de pesquisa direta.

Para o modelo da opção de preservação foram encontrados os seguintes valores:

¹⁷ Conforme Famá (2002) no Brasil há duas taxas que podem ser consideradas livres de risco: Poupança e CDI.

Conforme Equação (13), $\beta_1 = (1, 50/1, 46)$ o que resulta num coeficiente $[\beta_1/(\beta_1 - 1)\delta]$, que estabelece a proporção de K que o valor do Parque dos Manguezais (V) deve assumir para que a opção de preservação seja exercida antecipadamente, no valor de 0,04 para ambas DAP.

Os valores críticos resultantes revelam diferenças significativas, tanto quando se comparam as DAP estimadas quanto para o VPL e valor crítico. Para qualificar estes valores, deve-se destacar o valor de R\$ 312,97 milhões e R\$ 311,60 milhões que representam a maior flexibilidade na análise conforme as DAP médias de R\$ 3,40 e R\$ 7,05.

O custo de oportunidade do Parque foi calculado em duas versões. A primeira considerando o valor médio para a região do mercado imobiliário, que é de R\$ 160,00/m². Como a área total do Parque (307,83 ha) equivale a 3.078.300m², tem-se que o custo de oportunidade do Parque dos Manguezais no mercado imobiliário, conforme Equação 15 é R\$ 492,53 milhões. A segunda versão utiliza o valor do m² atribuído pela Marinha do Brasil, que é de R\$ 6,00/m². Para este valor, tem-se um custo de oportunidade é de R\$ 18,47 milhões.

Os custos das propostas de intervenção da Prefeitura da Cidade do Recife (PCR), e percentual de perda do Parque dos Manguezais estão descritas na Tabela 3:

Tabela 3

Características das rodovias (em Projeto)

Tipo de construção	Custo privado	Área de aterro
Via Mangue	Em R\$ milhões	%
Via Mangue suspensa	178,13	1,4
Via Mangue aterrada	126,00	8,3

Fonte: Elaborada pelos autores.

4.1. Resultados

A Tabela 4 traz um resumo de todos os valores apresentados a partir da qual é possível fazer uma análise mais conclusiva sobre a opção de preservação do parque.

Tabela 4
Características das rodovias (em Projeto)

DAP	Opção	V	Valor ambiental	FLC $VPL = 0$	VPL	V*	FLC $V = V^*$	A	F	Prêmio espera	
R\$3,40	Uso total (Marinha)	18,47	229,81	16,43	211,34	0,73	0,05	$1,60.e^{-5}$	-	-	
	Uso total	492,53	229,81	16,43	-262,72	19,58	1,40	$1,60.e^{-5}$	102,66	365,38	
	ADEMI-PE										
	Via Mangue (suspensa)	3,50	4,38	0,23	0,88	0,12	0,01	$1,60.e^{-5}$	-	-	
	Via Mangue (aterrada)	20,75	25,98	1,36	5,23	0,76	0,05	$1,60.e^{-5}$	-	-	
R\$7,05	Uso total (Marinha)	18,47	476,52	34,07	458,04	0,73	0,05	$2,12.e^{-5}$	-	-	
	Uso total	492,53	476,52	34,07	-16,01	19,49	1,39	$2,12.e^{-5}$	98,81	114,82	
	ADEMI-PE										
	Via Mangue (suspensa)	3,50	4,36	0,48	0,86	0,17	0,01	$2,12.e^{-5}$	-	-	
	Via Mangue (aterrada)	20,75	25,86	2,83	5,11	1,02	0,07	$2,12.e^{-5}$	-	-	

Fonte: Elaborada pelos autores.

Notas:

- a) Coluna Opção identifica as opções de gerenciamento para o Parque dos Manguezais;
- b) Coluna V representa os fluxos de caixa do projeto descontados a taxa $r = 7,15\%$;
- c) Coluna Valor Ambiental mostra os danos ambientais;
- d) Coluna FLC para $VPL = 0$, mostra o FLC anual mínimo e perpétuo para o Investimento Total;
- e) Coluna $VPL = V - \text{Total (Investimentos)}$;
- f) Coluna V^* mostra o valor do gatilho ou crítico para a aceitação do projeto (anual);
- g) Coluna FLC para $V = V^*$, mostra o FLC anual mínimo e perpétuo para o exercício imediato;
- h) Coluna A é a constante da função de $F = AV^* + V/\delta$ conforme condições de contorno;
- i) Coluna F representa o valor da opção; e
- j) Coluna Prêmio pela Espera = $F - VPL$.

Diante dos valores apresentados, com respeito às alternativas de gerenciamento consideradas, foi possível fazer a seguinte análise dos resultados:

Em relação à opção de uso total do Parque dos Manguezais, os resultados foram mais influenciados pelas diferentes avaliações sobre o metro quadrado do ativo ambiental. Para as DAP médias consideradas, quando o valor do metro quadrado (m^2) considerado do parque é R\$ 6,00, conforme avaliação da MB, os valores das DAP são suficientes para justificar a preservação do Parque dos Manguezais, independente da metodologia de avaliação de investimentos aplicada, ou seja, o projeto de preservação do parque é aceito tanto pela regra de decisão do $VPL(VPL > 0)$, quanto pela regra de decisão das opções reais ($V > V^*$).

Entretanto, quando o valor do m^2 aumenta para R\$ 160,00, o menor custo imobiliário para região, conforme a ADEMI-PE, pela análise do VPL as DAP médias passam a ser insuficientes para justificar a preservação do ativo. Já pela análise das opções reais, apenas a DAP média de R\$ 7,05 é suficiente para justificar a conservação total do parque, colunas d e f da Tabela 4: R\$ 34,07 milhões > R\$ 19,49 milhões.

Em relação à opção de uso parcial do Parque dos Manguezais, a opção de construção da via Mangue suspensa compromete uma área menor do parque (1,4%), com isso, sofre menor impacto dos custos ambientais que são

proporcionais ao tamanho do dano. Já a construção aterrada que compromete uma área maior do parque (8,3%), sofre um impacto maior dos custos ambientais. Pela análise do *VPL* as DAP médias utilizadas na pesquisa não são suficientes para justificar a utilização de tecnologia que permita a preservação do Parque dos Manguezais, a perda ambiental não é relevante e a forma de construção aterrada continua sendo a mais barata. Entretanto, quando se procede com a abordagem das opções reais, a construção a construção suspensa passa a ser a mais relevante, passando a justificar inclusive o uso de tecnologias mais caras, poupadoras de ativo ambiental.

Desta forma as duas hipóteses básicas estabelecidas foram verificadas. No caso da primeira hipótese, o uso do método das opções reais se mostrou capaz de preencher as lacunas do método de avaliação do *VPL* na avaliação de ativos ambientais, no caso particular desta pesquisa justificando inclusive, em alguns casos, a opção de preservação do parque, quando não, diminuindo as discrepâncias entre os valores.

No caso da segunda hipótese, a DAP médias estimadas por Leite e Melo (2005) só é suficiente para justificar a preservação do meio ambiente quando o preço do m² é igual a R\$ 6,00 (MB), isto também é confirmado com a DAP de Leite (2006) para este preço do mangue. Contudo, quando o preço considerado para o cálculo do valor do mangue é de R\$ 160,00 e apenas a DAP média de Leite (2006) é capaz de cobrir o custo de oportunidade do parque no mercado imobiliário e justificar a opção de preservação do mesmo.

5. Conclusões

Esta pesquisa procurou mostrar a importância da flexibilidade gerencial no processo de tomada de decisão envolvendo ativos ambientais, para que não sejam cometidos erros irreversíveis. Ela partiu da importância da valoração econômica dos ativos ambientais porque esta é a atividade inicial no processo de avaliação. Um erro na avaliação significaria análises equivocadas e pouco confiáveis.

A escolha de uma metodologia nova para avaliação deveu-se ao fato da análise tradicional, baseada no fluxo de caixa descontado, não considerar parcelas importantes de um investimento. Com isso, seguindo a sugestão de diversos autores, foi utilizada a abordagem das opções reais, que se mostrou bastante apropriada para decisões de uso conflitante relacionadas a recursos naturais que envolvam investimentos irreversíveis, flexibilidade gerencial e incerteza sobre o futuro. Além disso, as opções reais consideram explicitamente o custo de oportunidade de se fazer um investimento imediatamente no lugar de adiá-lo para outra data futura e então resolver algumas incertezas presentes.

O ativo ambiental avaliado foi o Parque dos Manguezais, em Recife-PE, para o qual já existiam valores da disposição média a pagar estimados, com o uso de dois modelos alternativos (*logit* e *beta*) para o método de valoração contingente.

Este parque representa uma das últimas áreas de mangue da região, sendo por isso importante a sua preservação. O interesse sobre o parque surgiu por ser ele objeto de disputa entre a sua preservação e o aterramento para a construção de uma rodovia (a Via Mangue), a qual se supõe desafogará o trânsito entre as zonas sul e norte da cidade.

A decisão de construção da Via Mangue foi considerada irreversível, mas que produzia um fluxo de caixa, suposto para a aceitação do projeto pela regra tradicional de avaliação de investimento. A preservação renderia um fluxo de caixa anual de benefícios, conforme as DAP médias estimadas por Leite e Melo (2005) e Leite (2006) que foi assumido seguir um processo estocástico do Movimento Geométrico Browniano. Conforme a forma de construção da avenida esse fluxo seria reduzido.

Os valores críticos da preservação do Parque dos Manguezais foram de R\$ 19,57 milhões por ano (atualizado: R\$ 312,97 milhões) [DAP = R\$ 3,40] e R\$ 19,49 milhões por ano [DAP = R\$ 7,05] (atualizado: R\$ 311,60 milhões). Estes valores foram encontrados conforme a necessidade de investimentos para obra de construção obtidos por programação dinâmica resolvendo a equação de Bellman representativa do problema de otimização do VPL do parque sujeito as condições de contorno que garantiram as decisões ótimas e seus limites. Foi mostrado que os valores obtidos pelo método das opções reais são superiores aos valores obtidos pelo método tradicional e, mais do que isso, que estes valores são suficientes para garantir a preservação da área de mangue, ou, pelo menos, para sugerir que esta é a melhor política a ser adotada, quando se tem como opção a sua utilização para fins imobiliários.

Relativamente à construção da rodovia, considerou-se que a melhor política é a de construção de uma via suspensa, pois ao se incorporar o custo ambiental no projeto, a via aterrada se tornava mais cara que a via suspensa, esta sempre deixada de lado devido aos seus altos custos privados.

Do ponto de vista social, considera-se que os resultados e definições de políticas apontadas por esta pesquisa, revelam à sociedade pernambucana a noção exata do valor monetário da opção de preservação do Parque dos Manguezais. Este fato é demasiado importante, uma vez que não se conhecem por completo as potencialidades deste ativo ambiental. Fica claro que, de imediato, a construção de uma rodovia, apesar de parecer a melhor escolha para sociedade, pode gerar um grande prejuízo no futuro.

Do ponto de vista da economia do meio ambiente, esta pesquisa trouxe contribuições porque mostrou a aplicabilidade da Teoria das Opções Reais como instrumento para avaliação de investimentos na área ambiental, determinando uma regra de decisão condizente com o princípio da precaução. A metodologia atualmente mais amplamente utilizada, baseada no FCD, não considera as flexibilidades gerencial e estratégica. A busca de um instrumento que considerasse a informação como fator decisivo para aperfeiçoar o gerenciamento de recursos naturais foi o que motivou a escolha do método das opções reais.

Referências

- Arrow, K. & Fisher, A. C. (1974). Environmental preservation, uncertainty and irreversibility. *Quarterly Journal of Economics*, 86(2):312–319.
- Barros, A. R. (2001). Fundamentos econômicos da dinâmica da pesca em Pernambuco. *Revista Econômica do Nordeste*, 32(especial):569–591.
- Bishop, R. C., Champ, P. A., & Mullarkey, D. J. (1995). Contingent valuation. In Bromley, D., editor, *Environmental Economics*. Blackwell Publishers, Inc. Capítulo 28.
- Black, F. & Scholes, M. (1973). The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy*, 81:637–59.
- Brandão, L. E. T. & Cury, M. V. Q. (2005). Avaliação da viabilidade econômica da concessão e análise dos riscos e incertezas do tráfego da BR-163, com o uso da teoria das opções reais. Disponível em <http://www.iag.puc-rio.br/brandao>. Relatório de trabalho.
- Brito, P. (2003). *Análise e Viabilidade de Projetos de Investimento*. Atlas, São Paulo.
- Buarque, C. (1984). *Avaliação de Projetos: Uma Apresentação Didática*. Elsevier, Rio de Janeiro.
- Carvalho, A. (2000). Ecobriga: Projeto de via expressa com pedágio prevê construção e aterro no maior manguezal urbano do país e abre guerra no Recife. Isto É, São Paulo, 13 de outubro.
- Chambers, C. M., Chambers, P. E., & Whitehead, J. C. (1994). Conservation organizations and the option value to preserve: An application to debt-for-nature swaps. *Ecological Economics*, 9:135–43.
- Conrad, J. M. (1997). On the option value of old growth forest. *Ecological Economics*, 22:97–102.
- Contador, C. R. (2000). *Projetos Sociais: Avaliação e Prática*. Atlas, São Paulo.
- Copeland, T. & Antikarov, V. (2001). *Opções Reais: Um Novo Paradigma para Reinventar a Avaliação de Investimentos*. Campus, Rio de Janeiro. Tradução de Maria José Cyhlar.
- Dias, M. A. G. (2005). Opções reais híbridas com aplicações em petróleo. Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Industrial.
- Dixit, A. K. & Pindyck, R. S. (1994). *Investment under Uncertainty*. Princeton University Press, Princeton.
- Famá, R. (2002). Conceito de taxa livre de risco e sua aplicação no capital asset pricing model: Um estudo exploratório para o mercado brasileiro. In *Anais do 2º Encontro Brasileiro de Finanças*, Rio de Janeiro. SBFIn.
- Favelas (2004). Favelas ameaçam área do Parque dos Manguezais. *Jornal do Commercio*, Recife, 13 de junho. Ciência e Meio Ambiente.
- Ferrari, S. L. P. & Cribari-Neto, F. (2003). Beta regression for modeling rates and proportions. Disponível em <http://www.ime.usp.br/sferrari/beta.pdf>.
- Fisher, A. C. & Hanemann, W. M. (1986). Environmental damages and option values. *Natural Resource Modeling*, 1:111–124.
- Forsyth, M. (2000). On estimating the option value of preserving a wilderness area. *Canadian Journal of Economics*, 33(2):413–434.
- Henry, C. (1974). Investment decisions under uncertainty: The irreversibility effect. *American Economic Review*, 64:106–1012.

- Kassar, I. & Lasserre, P. (2004). Species preservation and biodiversity value: A real options approach. *Journal of Environmental Economics and Management*, 48(2):857–879.
- Leite, J. C. L. (2006). *O Método de Valoração Contingente: Uma Estimativa da Disposição a Pagar Utilizando um Modelo Econométrico Flexível Quanto à Forma*. PhD thesis, Universidade Federal de Pernambuco.
- Leite, J. C. L. & Melo, A. S. S. A. (2005). Valoração de área de mangue no Recife usando o método de valoração contingente. In *9ª Escola de Modelos de Regressão*, page 54, São Paulo. Associação Brasileira de Estatística.
- Merton, R. C. (1973). Theory of rational option pricing. *Bell Journal of Economics and Management Science*, 4(Spring):141–83.
- Minardi, A. M. A. F. (2004). *Teoria de Opções Aplicada a Projetos de Investimento*. Atlas, São Paulo.
- Myers, S. C. (1977). Determinants of corporate borrowing. *Journal of Financial Economics*, 5:147–75.
- Ortiz, R. A. (2003). Valoração econômica ambiental. In May, P. H., Lustosa, M. C., & Vinha, V., editors, *Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática*. Elsevier, Rio de Janeiro.
- Pearce, D. & Turner, K. (1990). *Economics of Natural Resources and the Environment*. Harvester Wheatsheaf, London.
- RECIFE (2004). Relatório de diagnóstico zona especial de preservação ambiental – ZEPA. Prefeitura da Cidade do Recife.
- RECIFE (2007). Via Mangue. Secretaria de Planejamento, Urbanismo e Meio Ambiente.
- Reed, W. J. (1993). The decision to conserve or harvest old-growth forest. *Ecological Economics*, 8:45–69.
- Tourinho, O. (1979). The option value of reserves of natural resources. Working Paper, University of California at Berkeley.
- Trigeorgis, L. (1995). *Real Options in Capital Investment: Models, Strategies and Applications*. Praeger, Westport.
- Zinkhan, F. C. (1991). Option pricing and timberland's land-use conversion option. *Land Economics*, 67(3):317–325.