

O VALOR DA PRESERVAÇÃO DO PARQUE DOS MANGUEZAIS EM RECIFE-PE: UMA UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE OPÇÕES REAIS

Guilherme Nunes Martins¹
Andrea Sales Soares de Azevedo Melo²

RESUMO

Neste trabalho a teoria das opções reais foi utilizada para analisar 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; ou até mesmo para fins imobiliários. Foi demonstrado que a análise do investimento tradicional baseada no fluxo de caixa descontado subestima o valor do recurso natural, conduzindo a possíveis erros de decisão, e que a avaliação por opções reais é a solução mais adequada para decisões desta natureza, por considerar o princípio da precaução, princípio fundamental a ambientes de incerteza, ao assumir a possibilidade da espera para tomada de decisão. Foi considerado que o valor econômico do Parque dos Manguezais segue um processo estocástico, precisamente um movimento geométrico Browniano. A partir disso, foram estimados os valores críticos para o Parque dos Manguezais, os quais permitiram que se concluísse pela necessidade de sua preservação; e ainda que, se pela opção de seu uso em parte para a construção de uma rodovia, que esta deve se dar de forma suspensa.

Palavras-Chave: Tomada de Decisão sob Risco e Incerteza, Políticas Públicas e Recurso Ambiental.

ABSTRACT

In this work the Real Options Theory was used to analyze if an area of the Mangroves Park, in Recife-PE, the larger urban mangroves area of the world, owes or not to be used for construction of a highway. It was demonstrated that the traditional investment analysis based on the discounted cash flow underestimates the value of the natural resource leading to mistaken decisions, and that the evaluation for real options analysis is the most appropriate solution for decisions of this size because considering principle of the precaution, fundamental principle to adapt uncertainty, when assuming the possibility of the wait for make decision. It was considered that the economical value of the Mangroves Park follows a stochastic process, precisely a geometric Brownian motion. Thus, the critical values for the Mangroves Park were calculating, which allowed that if it ended for the need of its preservation, and although, if for the option of his use partly for the construction of a highway, that this must be of suspended way.

Keywords: Socket of Decision under Risk and Uncertainty, Public Politics e Natural Resource.

Área ANPEC: 10 – **Economia Agrícola e do Meio Ambiente**

Classificação JEL: D60 D74 D81 Q26

1. INTRODUÇÃO

O principal foco da literatura sobre valoração econômica ambiental tem sido estabelecer as bases econômicas que fortaleçam a tomada de decisão no âmbito da gestão ambiental, tendo em vista o uso ou a preservação de um recurso natural determinado, ou mesmo da biodiversidade como um todo (KASSAR; LASSERRE, 2004). No contexto da avaliação social de projetos, esta valoração tem duas etapas que claramente definem a utilização de instrumentos distintos: na primeira identificam-se os métodos de valoração econômica propriamente ditos, em que se busca dar valor ao recurso ambiental; e na segunda identificam-se os métodos que atualizam o valor do recurso ambiental, definido para um fluxo finito ou infinito

¹ PIMES – Departamento de Economia da Universidade Federal de Pernambuco

² PIMES – Departamento de Economia da Universidade Federal de Pernambuco

de rendimentos associados. Tanto no primeiro como no segundo caso as particularidades do recurso ambiental imprimem exigências específicas sobre 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 do método das opções reais. Argumenta-se que este método preenche as lacunas deixadas pelo fluxo de caixa descontado, ao flexibilizar a análise no que se refere à incerteza, à irreversibilidade, e ao *timing*, características inerentes do bem ambiental (DIXIT; PINDYCK, 1994).

Dixit e Pindyck (1994) ressaltam três tipos de incerteza possíveis: a incerteza econômica, que está relacionada aos movimentos da economia que valorizam a espera por informações externas (*“learning by waiting”*); a incerteza técnica, que incentiva o investimento sequencial, para revelar o verdadeiro cenário e reduzir a variância da incerteza (*“learning by doing”*); e finalmente a incerteza estratégica, que está relacionada à ação de outras empresas no mercado, podendo adiantar ou adiar os investimentos.

O conceito de irreversibilidade, que pode ser total ou parcial, vem dos trabalhos de Arrow e Fisher (1974) e Henry (1974); e valoriza a espera antes que se tome uma decisão irreversível, pois a espera, esta sim, é reversível. Além de aplicável às decisões que envolvem o uso ou não uso do meio ambiente, o conceito também se aplica às decisões sociais, políticas e até às individuais (casamento, divórcio, suicídio).

No que se refere ao *timing*, pode-se dizer que raramente um investimento é do tipo “agora ou nunca”. É sempre possível que se postergue uma decisão para que se observe o mercado, ou seja, esperar o tempo certo do investimento.

No caso do uso de um ativo ambiental, cuja importância não é totalmente conhecida, a incerteza torna cara demais qualquer perda de qualidade ambiental irreversível. Fisher e Hanemann (1986), inclusive, provaram a existência de um prêmio em conservar um ativo ambiental para uso futuro, baseados no valor de exploração futuro incerto e na irreversibilidade da utilização atual.

A superação destas limitações vinha sendo tratada na literatura com abordagens externas e complementares à utilização do método. Brandão, Hacon e Sampaio (1999), por exemplo, determinaram a maior renda mensal possível para uma população de pescadores artesanais através do uso de um método de fluxo de caixa descontado. Como o método não considerava cenários de incerteza, os autores fizeram uma análise de sensibilidade, através de vários cenários baseados em hipóteses. Do mesmo modo trabalharam Almeida, Monteiro e Almeida (2001), que calcularam o valor atual de um agro-ecossistema utilizando o método do valor presente líquido³. Conforme admitem os próprios autores, a falta de tratamento das incertezas pelo método exigiu que fossem feitas análises de sensibilidade das variáveis relevantes.

Dubeux (1998) demonstrou que a análise feita pela razão benefício/custo⁴ pode oferecer importantes indicadores que melhor qualificam a tomada de decisão para questões que envolvam ativos ambientais; entretanto as limitações apresentadas pelo método exigiriam outras análises para ajustar os valores ao risco peculiar de cada caso. O mesmo concluíram Bann (1997) e Homma *et. al.* (1996), que contornaram a rigidez dos métodos utilizados⁵ com análises paralelas subjetivas.

Segundo Copeland e Antikarov (2003 p. 92), o método da árvore de decisão⁶, ao se basear no pressuposto de uma taxa de desconto constante ao longo de toda árvore, resulta em respostas erradas, pois, “o risco do fluxo de caixa varia conforme nova localização na árvore de decisão”.

As limitações destes métodos se baseiam principalmente na não captação do custo de oportunidade embutido na decisão de se esperar o momento mais favorável para executar um investimento irreversível. Black, Scholes e Merton (1973), num dos trabalhos pioneiros na área, provocaram a valoração de uma opção com técnicas direcionadas a resolver problemas de incerteza. Arrow e Fisher (1974) e Henry (1974) introduziram o termo valor de quase-opção para representar o valor obtido quando a opção de espera é integrada ao processo de tomada de decisão, surgindo daí o efeito irreversibilidade. Foram estes

³ O valor presente líquido é baseado no fluxo de caixa descontado.

⁴ A razão benefício/custo também é baseada no fluxo de caixa descontado.

⁵ Valor presente líquido e razão benefício/custo.

⁶ Método também baseado no fluxo de caixa descontado.

autores os primeiros a utilizarem opções em estudos de impactos ambientais, demonstrando que, para uma função de escolha-binária ou de benefício, a postergação ou a diminuição de investimento hoje é uma escolha ótima quando os benefícios futuros são incertos.

Myers (1977) utilizou pela primeira vez o termo opções reais referindo-se 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*. Já a primeira aplicação quantitativa das opções reais foi feita por Tourinho (1979), que calculou o valor das reservas de petróleo utilizando as técnicas da teoria da precificação de opções. Depois dele, vários outros trabalhos seguiram sua linha de pesquisa.

Em 2001, Farrow (2001) acrescentou novas técnicas aos padrões de avaliação da razão benefício/custo, através da combinação de técnicas de avaliação de risco e critérios de tomada de decisão sob incerteza e irreversibilidade. Além disso, o autor fez uma definição quantitativa de um princípio preventivo para a tomada de decisão. Igualmente importante, a pesquisa de Wessler (2003) discutiu a incerteza como principal problema para identificação do processo estocástico correto para medir o incremento do benefício de uma política pública.

Entre os trabalhos relacionados ao tema avaliação de investimentos e preservação ambiental, destacam-se os de Conrad (1997), que calculou o valor da opção de preservação de um parque florestal, assumindo que os benefícios da preservação seguem um movimento geométrico browniano, e o de Forsyth (2000), que calculou o valor de preservação de um ativo ambiental utilizando dois processos estocásticos diferentes para incrementar o benefício da amenidade: o geométrico browniano e o processo logístico.

Em resumo, apesar dos métodos de fluxo de caixa descontado⁷ ainda serem bastante utilizados, seus resultados são pouco confiáveis num cenário sob incerteza; ou porque deixam de considerar parcelas significativas do projeto (TRIGEORGIS, 1996), como o valor da flexibilidade gerencial; ou porque subestimam todos os valores do projeto, comprometendo totalmente o investimento (COPELAND; ANTIKAROV, 2003). As análises de sensibilidade e da árvore de decisões, mesmo considerando a flexibilidade gerencial, e contornando em parte o problema, não o fazem de forma adequada, pois pressupõem uma taxa de desconto constante durante toda a vida útil do projeto.

As opções reais consideram as incertezas (técnicas, econômicas e estratégicas), e também todas as opções relevantes decorrentes das flexibilidades gerenciais e estratégicas, para responder basicamente a duas questões. A primeira destas questões refere-se ao valor de oportunidade do projeto (valor de opção); e a segunda refere-se à decisão ótima a ser tomada (considerando o valor crítico ou valor do gatilho). Estas duas questões podem ser vistas como um problema de otimização, que busca maximizar o valor presente líquido do projeto, fazendo o gerenciamento ótimo das flexibilidades gerenciais. O valor de uma opção real é, assim, uma evolução do valor presente líquido estático⁸ e da análise feita pela árvore de decisão.

O uso do método de opções reais será tão mais valioso quanto maiores forem a probabilidade de obtenção de novas informações ao longo do tempo (diminuir a incerteza); e a capacidade de reação da gerência a estas novas informações (flexibilidade gerencial). Ademais, quando o valor presente líquido estático estiver muito próximo de zero, o que representa uma flexibilidade de alto valor, a diferença entre a análise pelas opções reais e outras ferramentas de decisão é ainda mais substancial (COPELAND; ANTIKAROV, 2003). Neste caso o valor adicional da flexibilidade faz uma grande diferença na hora da escolha.

O valor ambiental que esta pesquisa busca atualizar, com o método proposto, é um valor previamente estimado como fluxo anual para uma área de mangue urbano da cidade do Recife-PE, o Parque dos Manguezais. Tratam-se, na verdade, de dois valores, ambos resultantes de uma mesma pesquisa com a aplicação do método de valoração contingente⁹. O primeiro valor foi encontrado por Leite e Melo (2005), a partir da utilização de um modelo de regressão *logit*; e o segundo foi encontrado por Leite (2006), a partir

⁷ Valor presente líquido, razão benefício/custo, taxa interna de retorno.

⁸ VPL baseado na metodologia tradicional de FCD, sem flexibilidade gerencial. Consideram as taxas de descontos como constantes ao longo de toda a vida do projeto.

⁹ O método de valoração contingente eminentemente estima valores anuais.

de um modelo de regressão beta. A diferença básica existente entre os dois modelos é a de que este último “aperfeiçoa o processo de modelagem através da incorporação de técnicas que permitem captar o processo de tomada de decisão do consumidor” (p. 15); aperfeiçoamento este que pode ser traduzido como uma flexibilização do modelo.

O Parque dos Manguezais é um dos últimos resquícios de mangue bem preservado da cidade do Recife, que cresceu, desde os seus primórdios¹⁰, sobre o aterramento destas áreas mangue. Este processo continua até os dias atuais, remanescendo apenas estreitas áreas deste ecossistema, as quais, na maioria das vezes, sofrem ameaça de deterioração, tanto pelo depósito do lixo como pela favelização espontânea (RECIFE, 2004). Deve-se ainda destacar a pressão exercida pelo mercado imobiliário da cidade, esta resultante das grandes empresas do setor (CARVALHO, 2000). Mais recentemente a proposta de construção de uma rodovia para desafogar o trânsito entre as zonas sul e norte da cidade tem sido a “grande vilã” deste processo; e na verdade a grande motivadora da realização desta pesquisa¹¹.

O Parque dos Manguezais representa a maior área de mangue urbano do mundo¹² e, portanto, buscava-se identificar se existiria alguma razão econômico-científica que justificasse a construção de uma rodovia suspensa, com menor área de aterramento; alternativa sempre deixada de lado pelos gestores locais. Ou seja, buscava-se atribuir valor ao mangue para que se pudesse saber se, ao considerar o custo de seu aterramento, a alternativa da rodovia suspensa continuaria sendo a alternativa mais cara.

A proposta de intervenção urbana e preservação ecológica da Prefeitura da Cidade do Recife (PCR), lançada em fevereiro de 2004, previa a construção de uma via que comprometeria 4,4 ha do Parque dos Manguezais. Inicialmente, a intenção era construir uma estrutura suspensa que agredisse o mínimo possível os manguezais da região. Comparada à proposta anterior, a Linha Verde que comprometeria 25,4 ha do parque, esta representava um avanço na consciência dos órgãos gestores da preservação dos recursos naturais ainda disponíveis. O custo estimado para a construção da avenida foi de R\$ 178 milhões.

Contudo, a fim de diminuir custos a PCR voltou atrás no projeto inicial e agora pretende construir a Via Mangue comprometendo uma quantidade maior do Parque dos Manguezais, aproximadamente 25,4 ha (semelhante à Linha Verde); em termos percentuais, a área que será utilizada equivale a 8,3% do Parque dos Manguezais. Além disso, o novo projeto não contemplaria nem o parque ecológico nem o reassentamento da população ribeirinha. Nesse caso, os custos estimados para as obras cairiam para R\$ 126 milhões (redução de 29 %).

Uma análise que claramente se insere no contexto das avaliações sociais de projetos (ASP), em que o cálculo do custo de oportunidade do recurso ambiental é rotina imprescindível da análise, estando incluído nos custos sociais diretos ou indiretos do investimento. Távora Junior, Eustáchio e Seixas (2000) alertam que a ASP que envolve impactos ambientais é bastante dependente da importância para o ecossistema da existência e da preservação do recurso natural envolvido. Neste sentido destaca-se que, hoje, e segundo a Prefeitura do Recife (RECIFE, 2007) restam apenas 5% dos mangues originais do estado, o que revela a importância de sua preservação.

A importância do mangue não se dá apenas por sua escassez relativa, mas sobretudo pelas funções que exerce na vida do homem, como o controle das marés, por exemplo, que evita as enchentes em épocas de chuvas fortes. Apesar de não ser exatamente muito rico em biodiversidade, por ser considerado o berçário das marés, ele garante a biodiversidade dos ecossistemas associados (MEIRELES, 2005).

O ecossistema manguezal vive sob intensa pressão para utilização dos seus recursos. Bann (1997) destaca entre estas ameaças alguns tipos potenciais de uso não sustentável, como a extração de madeira e a produção de carvão. Entre as ameaças de conversão, a autora destaca a agricultura, aquíicultura-carcinicultura e extração de minérios, entre outros. Além disso, ressalta a ameaça de poluição, gerada por esgoto, resí-

¹⁰ Estes aterramentos aconteceram principalmente a partir da invasão holandesa (em 1630), quando se iniciou um forte processo de urbanização da cidade.

¹¹ Os autores agradecem ao CNPq pela oportunidade da pesquisa através do Edital Universal.

¹² <http://www.recife.pe.gov.br/pr/secplanejamento/parques.php>

duos sólidos e detritos industriais. Há um grande número de estratégias de gerenciamento que podem ser consideradas para cada área do mangue, as quais dependerão do local, das características ecológicas do manguezal e das possibilidades de desenvolvimento e prioridades para a área.

É importante frisar que as opções de gerenciamento selecionadas devem ser baseadas em algum julgamento sobre o que é técnica e politicamente possível. Bann (1997) salienta que é preciso satisfazer considerações ambientais em todas as opções, como por exemplo o replantio, o corte seletivo, proibições de cortes e até delimitação de cinturões verdes.

Do ponto de vista social, deve-se ressaltar o grande contingente populacional que depende economicamente da pesca em mangues, o que também é uma verdade para o caso do 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 custo de sua eliminação ou redução é um fator importante que, segundo Bishop, Champ e Mullarkey (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 de se construir uma rodovia não suspensa.

O artigo 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 e localização, e suas principais características sócio-econômicas.

A seção três descreve a metodologia da pesquisa, com os procedimentos necessários para comprovar a sua hipótese básica, qual seja, 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 (valor de gatilho) do Parque dos Manguezais, o qual foi obtido por programação dinâmica através da solução analítica da equação diferencial (equação de Bellman), restringida pelas condições de contorno que garantem decisões ótimas e seus limites. Para que se observasse seu custo de oportunidade, foram calculados ainda valores associados ao mercado imobiliário (de acordo com o preço do m² da região que se insere), e ao custo direto de seu aterramento para construção da rodovia. Este último foi somado ao custo privado de construção da rodovia, suspensa e não suspensa.

Os resultados obtidos para o Parque dos Manguezais são apresentados na seção quatro e na seção cinco apresentam-se as principais conclusões, em que se procura abordar de maneira sintetizada a pesquisa realizada, sua relevância do ponto de vista social e para economia do meio ambiente, contribuições para o estudo de métodos de avaliação de ativos ambientais, limitações e perspectivas para pesquisas futuras. Para finalizar, são feitos alguns comentários sobre os benefícios do gerenciamento sustentável.

2. O PARQUE DOS MANGUEZAIS¹³

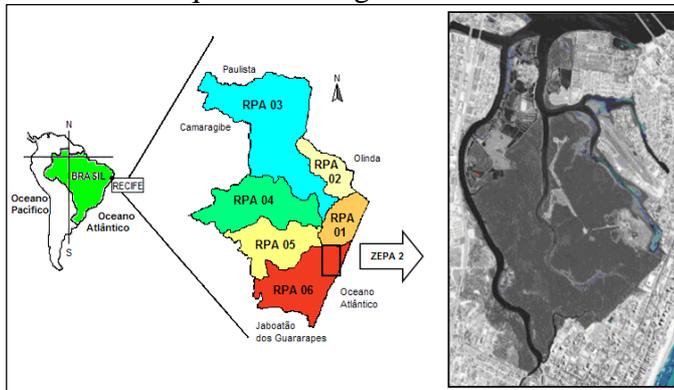
O Parque dos Manguezais está localizado na porção sul da cidade do Recife, entre os bairros de Boa Viagem e do Pina, numa área conhecida como antiga “Estação Rádio Pina” da Marinha do Brasil. Possui uma área total de 307,83 ha. e tem seu acesso principal feito pela avenida Domingos Ferreira (pista local).

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 Prefeitura do Recife (RECIFE, 2004): “o espaço urbano do Parque dos Manguezais encontra-se ainda bem conservado e pode ser considerado um verdadeiro santuário ecológico tão especialmente característico do panorama da cidade do Recife”.

¹³ Texto composto predominantemente por um resumo do Relatório de Diagnóstico Zona Especial de Preservação Ambiental – ZEPA 2, da PCR (RECIFE, 2004).

A Figura 1 apresentada a seguir mostra a situação geográfica desta área de mangue. Como é possível observar, o Parque está espremido numa área bastante edificada, próxima à beira mar (praia), localização bem valorizada da cidade¹⁴, situação que faz aumentar a pressão sobre o parque, principalmente pelo setor imobiliário.

A área do Parque dos Manguezais encontra-se intacta devido ao fato de ter sido, na década de 1940 du-

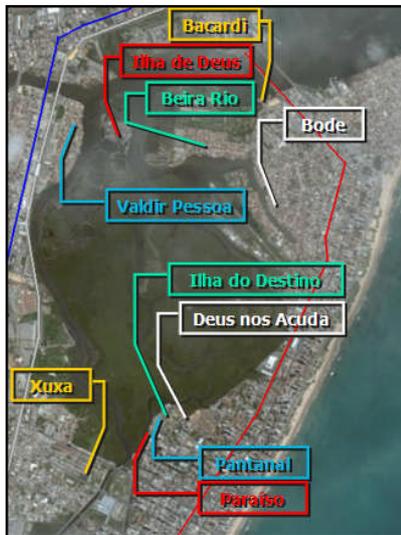


rante a II Guerra Mundial, o local escolhido pelos americanos para implantar uma Estação Rádio, que posteriormente passou ao controle da Marinha do Brasil. A partir de então, a Marinha manteve a Estação Rádio Pina (ERP) com a finalidade de executar e dirigir serviços especiais de comunicações para a Armada brasileira até os anos 1990, quando então desativou a Organização Militar. Entretanto, até hoje a Marinha continua protegendo o local de potenciais invasões e ocupações efetivas com efetivos regulares de serviço diário no local.

Figura 1 – Situação da ZEPa 2 – Parque dos Manguezais

Fonte: A partir de Recife (2004)

O Parque dos Manguezais tem seu entorno imediato composto por dez comunidades de ocupação espontânea. Em média, 10,4% das pessoas que vivem nessas comunidades não têm qualquer rendimento. Além disso, 58% do pessoal remunerado recebe até dois salários mínimos por mês, média bastante incompatível com a Região Político-Administrativo (RPA), em que estão enquadradas, principalmente quando comparadas ao bairro de Boa Viagem, o principal bairro beneficiado com a construção da rodovia (RECIFE, 2004). A média de famílias que ganha acima de cinco salários mínimos era de 36,46% em 2000, sob forte influência do bairro de Boa Viagem, com 74,54%, respectivamente.



A Prefeitura da Cidade do Recife 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.

Figura 2 – Mapeamento das Comunidades do Entorno do Parque dos Manguezais

Fonte: Elaboração própria a partir do Google Earth® 2007

3. METODOLOGIA

Trata-se de uma análise quantitativa, em que se busca comprovar a hipótese de que existe um valor de opção associado ao Parque que justifica a sua preservação. Para esta, existem duas hipóteses associadas: (i) o uso da metodologia de avaliação com base na teoria das opções reais, porque incorpora a flexibilidade nas decisões, é uma alternativa viável para os problemas apresentados pela metodologia do Fluxo de Caixa Descontado convencional, a qual tende a subestimar a avaliação de projetos, principalmente aqueles com características de *timing*, incerteza e irreversibilidade; e (ii) as disposições a pagar (DAP) médias

¹⁴ Esta área possui o m² mais caro do Recife.

estimadas por Leite e Melo (2005) e Leite (2006) para traduzir a preferência dos consumidores pelo Parque dos Manguezais são suficientes para justificar sua preservação.

No caso da primeira hipótese, e no uso do método das opções reais, procede-se com o cálculo do valor crítico do Parque dos Manguezais. Este valor crítico (valor de gatilho) foi obtido por programação dinâmica, através da solução analítica da equação diferencial parcial, que foi simplificada para uma equação diferencial ordinária (equação de Bellman), devido ao fato de tratar-se de uma opção perpétua. A equação foi restringida pelas condições de contorno que garantem decisões ótimas e seus limites. A partir da solução foi feita a análise pelo método do valor presente líquido e pelo método das opções reais.

Para comprovação da segunda hipótese, buscando determinar o custo de oportunidade da preservação do Parque dos Manguezais, procede-se a uma comparação com as duas principais utilizações alternativas da área de mangue; ou seja, sua utilização pelo mercado imobiliário e pela construção da rodovia.

3.1 – O MODELO DE OPÇÕES REAIS

Seja um projeto de preservação do Parque dos Manguezais com vida útil perpétua, horizonte de tempo infinito $T \rightarrow \infty$, que gera um fluxo de caixa anual, FC , indefinidamente, que representam os dividendos do projeto, em que δ é a taxa desses dividendos gerados para sociedade, detentora do projeto, que pode ser determinada pela razão abaixo:

$$\delta = \frac{FC}{VP} \quad (1)$$

A sociedade exige uma taxa de retorno (ρ) para investir no projeto. O valor do Parque dos Manguezais é a incerteza do projeto 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 de todo tempo.

O primeiro passo consiste na determinação do valor presente do projeto, num instante inicial utilizando-se a abordagem do fluxo de caixa descontado convencional. Este cálculo foi realizado na planilha de cálculo Excel, do pacote MS Office. Como o projeto tem vida útil perpétua e foi considerado que os fluxos de caixa não cresciam ao longo do tempo, foi utilizada a seguinte expressão:

$$VP_0 = \sum_{t=0}^{\infty} \frac{FC_t}{(1+r)^t} = FC_0 + \frac{FC_T}{r} \quad (2)$$

em que r é a taxa livre de risco. Além do VP do período inicial, foi calculado o VP do período seguinte, para que ambos fossem utilizados na Análise Monte Carlo para obtenção do valor da volatilidade (σ) do projeto de preservação do Parque dos Manguezais.

Para elaboração do modelo da opção de preservação do Parque dos Manguezais, segue-se a sugestão de Conrad (1997) e Forsyth (2000), para os quais a decisão de preservar ou utilizar um recurso natural deve ser simplificada pela suposição de que o valor da utilização é uma constante conhecida, denotada por $V_I - I$. Este valor deve ser comparado com o valor de se receber um fluxo de benefícios anual incerto do recurso, $V = V(t)$. Como se trata de uma opção perpétua, foi assumido que $V(t)$ segue um processo estocástico do movimento geométrico browniano, cuja forma pode ser expressa pela equação abaixo:

$$dV = \alpha V dt + \sigma V dz \quad (3)$$

em que α é valor de tendência do projeto, calculado conforme a equação abaixo:

$$\tilde{\alpha} = \ln \left(\frac{VP_1}{VP_0} \right) \quad (4)$$

e a volatilidade do projeto (σ) é obtida através da técnica de simulação Monte Carlo utilizando o software **Crystal Ball®** que trabalha sobreposto a uma planilha Excel. Este software recomenda para projetos ambientais uma volatilidade de $\sigma = 46\%$. Forsyth (2000) utilizou duas volatilidades para testar a sensibilidade

de do valor da opção de preservação de um ativo ambiental, $\sigma_1 = 26\%$ e $\sigma_2 = 50\%$.

O problema da decisão sobre a preservação pode ser visto como uma solução ótima de uma equação de Bellman, conforme a equação abaixo:

$$F_t(V_t) = \max \left\{ \overbrace{\frac{1}{V_t - I}}^{\text{Decisão Imediata}}, \underbrace{\frac{1}{1 + \rho} E_t [F_{t+1}(V_{t+1})]}_{\text{Decisão Futura}} \right\} \quad (5)$$

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, $V_t - I$ é a renda líquida restante com o uso do Parque dos Manguezais e F_t é o valor dos benefício da preservação no período t . A decisão da sociedade é escolher entre usar o Parque dos Manguezais agora e receber $V_t - I$ 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. Se a preservação do Parque dos Manguezais é a escolha ótima, como problema pode ser colocado em tempo contínuo, a equação de Bellman correspondente pode ser expressa conforme abaixo:

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

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 valorar $dF(V)$; expandindo a equação acima é obtida a expressão abaixo que foi denota por P :

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

Segundo Forsyth (2000), a equação de Bellman implica nos seguintes problemas de complementaridade linear: (i) $P \geq 0$; (ii) $F - [V - I] \geq 0$; e (iii) $P[F - (V - I)] = 0$.

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, $F - [V - I]$ 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 $F - [V - I] = 0$ o contrário.

Entretanto, como se trata de uma opção perpétua e o processo estocástico utilizado para modelar a incerteza foi o MGB, 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) que permite solução analítica:

$$F(V) = AV^\beta \quad (8)$$

Substituindo a Equação (8) na Equação (7), com as demais considerações observadas e simplificando, obtém-se a seguinte equação quadrática fundamental:

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

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

Conseqüentemente, a solução da EDO é do tipo $F(V) = A_1V^{\beta_1} + A_2V^{\beta_2}$. Em que: A_1 e A_2 são constantes determinadas pelas condições de contorno. No caso de uma opção perpétua, em que V^* (Valor do Gatilho ou Valor Crítico) independe do tempo, tem-se as condições descritas no Quadro 1 abaixo, as quais asseguram que $V = V^*$. A primeira condição $V = 0$, implica que A_2 seja igual a zero, caso contrário $F(0) \rightarrow \infty$ e não satisfaria $F(0) = 0$; A segunda condição é a condição de continuidade (*value-matching condition* – em que a opção F é exercida no instante ótimo mediante o pagamento de $V^* - I$); e a terceira é a condição de suavidade (*smooth pasting condition* – no ótimo a curva F é tangente à curva $V^* - I$). As duas últimas condições garantem quando o exercício antecipado é ótimo.

Quadro 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>)	$F(V^*) = (V^* - I)$
$V = V^*$ (Suavidade - <i>Smooth Pasting</i>)	$F_V(V^*) = 1$

Fonte: Dias (2005).

Substituindo $F(V) = AV^{\beta_1}$ nas duas últimas condições de contorno se obtém a constante $A_1 = \frac{V^* - I}{[V^*]^{\beta_1}}$ e o valor do gatilho ou valor crítico (V^*):

$$V^* = \left(\frac{\beta_1}{\beta_1 - 1} \right) I \quad (10)$$

Em que, $[\beta_1 \div (\beta_1 - 1)]$ é o coeficiente que estabelece que proporção de I, 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

<i>Programação Dinâmica</i>	$\frac{1}{2}\sigma^2V^2F_{VV} + \alpha VF_V - \rho F = -F_t$
<i>Ativos Contingentes</i>	$\frac{1}{2}\sigma^2V^2F_{VV} + (r - \delta)VF_V - rF = -F_t$

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 ao lado mostra as trocas necessárias para tornar os métodos de solução equivalentes.

Figura 3 – Equivalência de Métodos de Solução de Opções Reais

Fonte: Dias (2005)

É possível observar que foram necessárias duas trocas para tornar os métodos de solução equivalentes, a primeira é a troca da taxa de tendência do projeto α por $(r - \delta)$; e a segunda é a troca da taxa de desconto ρ por r . 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 conforme a seguinte equação (conforme substituição feita na Figura 3):

$$\beta_1 = \frac{1}{2} - \frac{(r - \delta)}{\sigma^2} + \sqrt{\left[\frac{(r - \delta)}{\sigma^2} - \frac{1}{2} \right]^2 + \frac{2r}{\sigma^2}} \quad (11)$$

3.2 – O CUSTO DE OPORTUNIDADE DO PARQUE DOS MANGUEZAIS

A partir do VPL (Equação 2) e do valor de gatilho V^* (Equação 10) do Parque dos Manguezais são feitas a análise tradicional baseada no FCD e a análise das opções reais para cada opção de intervenção, a via Mangue suspensa e a aterrada. Os custos ambientais decorrente de cada opção de uso são proporcionais

ao tamanho da área do mangue comprometida com o aterramento na execução da 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 valores¹⁵ do metro quadrado (m²) na cidade, 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 Imposto Predial Territorial Urbano (IPTU).

O método consiste em multiplicar o valor da área do terreno em m², pelo valor correspondente. Considerando pagamento à vista:

$$\text{Área do Parque dos Manguezais (m}^2\text{)} \times \text{Preço do m}^2 \quad (12)$$

Para o caso de se calcular o custo de aterramento para construção da rodovia, suspensa ou não, utiliza-se o valor calculado para o m² 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 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 modelo beta. A diferença básica entre os dois modelos é a de que este último aperfeiçoa o processo de modelagem, através da maior flexibilização do modelo.

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

- R\$ 3,40 mensais por domicílio, conforme Leite e Melo (2005);
- R\$ 7,05 mensais por domicílio, conforme Leite (2006).

As disposições médias a pagar estimadas resultam em benefícios anuais de R\$ 15.334.965,60 (3,40 x 12 x 375.857), ou R\$ 15,33 milhões, para o primeiro caso; e R\$ 31.797.502,20 (7,05 x 12 x 375.857), ou R\$ 31,80 milhões 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.

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. A Tabela 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 representa a maior adequação do modelo à flexibilidade de escolha do consumidor (LEITE, 2006).

Para os dois casos foi utilizada uma amostra de 1851 observações, em que 1501 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; 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, atualmente com rendimento líquido de 0,75% a.m. (jan/2007). Esta taxa representa a taxa efetiva de ganho real acima da inflação, que equivale a aproximadamente 9,4% a.a, ou seja $r = 9,4\% \sim 0,094$. A taxa de dividendos (δ) gerados para sociedade, detentora do projeto, que é determinada pela Equação (1), para a taxa de desconto $r = 9,40\%$, é igual a $\delta = 8,59\%$.

¹⁵ Valor discriminado na Tabela de Valores de m² 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.

Após mil iterações foi obtida a estimativa para a volatilidade do projeto igual a $\sigma = 40\%$. Valor que pode ser considerado razoável em relação ao que é recomendado pelo aplicativo de simulação utilizado para estimá-la Crystal Ball ($\sigma = 46\%$) e que foi utilizado por Conrad (1997) e Forsyth (2000), $\sigma_1 = 26\%$ e $\sigma_2 = 50\%$.

Para o modelo estimado cuja solução (valor da opção) é igual a $F(V) = A_1V^{\beta_1} + A_2V^{\beta_2}$, considerando as condições de contorno: $V = 0$, a condição de continuidade (*value matching condition*), e a condição de suavidade (*smooth pasting condition*), condições que garantem o exercício ótimo da opção, conforme Quadro (1), foram encontrados os seguintes valores:

Conforme Equação (11), $\beta_1 = 1,62$ ou que resulta num coeficiente $[\beta_1 \div (\beta_1 - 1)]$, que estabelece a proporção do Investimento (I) que o projeto (V) deve assumir para que a opção seja exercida antecipadamente, no valor de 2,61.

Tabela 1 – VPL e Valor de Opção calculados para o Parque dos Manguezais

DAP Média	VPL Em milhões	Valor Crítico Em milhões
R\$ 3,40	178,47	465,04
R\$ 7,05	370,07	964,07

Fonte: Elaborada pelos autores

Os valores resultantes revelam diferenças significativas, tanto quando se comparam as DAP estimadas para os dois modelos econométricos utilizados no método de valoração contingente, quanto para os valores estimados pelo VPL e pelo valor de opção. Para qualificar estes valores, deve-se destacar é o valor de R\$ 964,07 milhões que representa a maior flexibilidade na análise.

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 o m². Considerando que a área total do Parque (307,83 ha) equivale a 3.078.300 m², tem-se que o custo de oportunidade do Parque dos Manguezais no mercado imobiliário, conforme Equação (12) é R\$ 492,53 milhões. A segunda versão utiliza o valor do m² atribuído pela Marinha do Brasil, que é de R\$ 6,00 o valor do m². Para este valor, tem-se um custo de oportunidade 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 no Quadro 2 a seguir.

Quadro 2 – Características das rodovias (em Projeto)

Tipo de Construção Via Mangue	Custo Privado Em R\$ Milhões	Área de aterro %
Via Mangue Suspensa	178,13	1,4
Via Mangue Aterrada	126,00	8,3

Fonte: Elaborada pelos autores

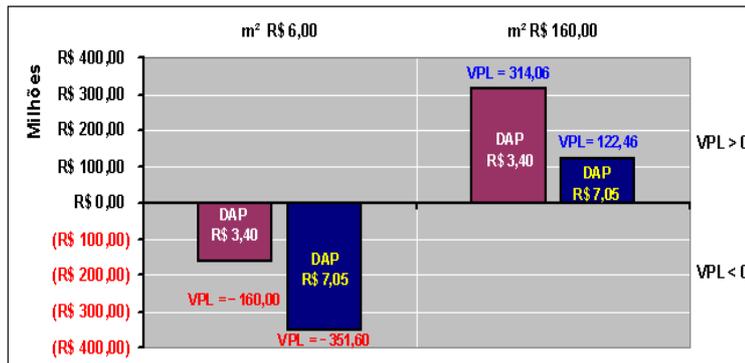
4.1 – DECISÃO DE USO TOTAL

Para a decisão de uso total, procedendo à avaliação pela metodologia tradicional com o método *VPL*, sem flexibilidade, para a DAP média estimada por Leite e Melo (2005) de R\$ 3,40. Quando o valor do m² do Parque dos Manguezais é R\$ 160,00, o custo de oportunidade do parque no setor imobiliário é maior que o valor atribuído pela população recifense ao parque, ou seja, R\$ 492,53 milhões > 178,47 milhões ($VPL = 314,06$ milhões > 0), o que significa ser mais rentável para sociedade vender, à vista, o parque no mercado imobiliário. Já quando o valor do m² é o atribuído pela Marinha do Brasil (MB) de R\$ 6,00, a DAP média estimada por Leite e Melo (2005) é mais que suficiente para justificar a preservação total do local, pois o custo de oportunidade do parque, neste caso, é menor que o valor atribuído pela sociedade ao ativo ambiental, ou seja, R\$ 18,47 milhões < 178,47 milhões ($VPL = -160,00$ milhões < 0), *VPL* negativo – o que significa, abandonar o projeto de uso do Parque dos Manguezais imediatamente.

Continuando a avaliação com a metodologia tradicional, desta vez para a DAP média estimada por Leite

(2006) de R\$ 7,05, tem-se que quando o valor do m^2 do Parque dos Manguezais é R\$ 160,00 (ADEMI-PE), o custo de oportunidade do parque no setor imobiliário continua maior que o valor atribuído pela população recifense, ou seja, R\$ 492,53 milhões > 370,07 milhões ($VPL = 122,46$ milhões > 0), o que também significa ser mais rentável não manter o parque preservado. No caso da confrontação com a avaliação feita pela Marinha do Brasil (MB) que atribuiu o valor de R\$ 6,00 / m^2 do parque, a DAP média estimada por Leite (2006) também é suficiente para justificar a preservação total do parque, pois, o custo de oportunidade do manguezal é menor que o valor atribuído pela sociedade ao mangue, ou seja, R\$ 18,47 milhões < 370,07 milhões ($VPL = -351,60$ milhões < 0).

Em resumo, pelo método do VPL nenhuma das DAP é suficiente para justificar a preservação do Parque dos Manguezais quando o valor do m^2 praticado é R\$ 160,00. Entretanto, quando o valor do parque passa a ser calculado conforme avaliação da Marinha do Brasil, ou seja, R\$ 6,00 / m^2 , as DAP médias estimadas são mais que suficientes para manutenção da amenidade do parque.



A Figura 4 mostra o VPL dos projetos conforme os valores do m^2 (ADEMI-PE e MB) e das DAP médias estimadas por Leite e Melo (2005) e Leite (2006). Nela é possível observar que, quando o preço do m^2 é R\$ 6,00, o $VPL < 0$, (negativo) mostrando que a preservação é a melhor escolha e a pior quando o m^2 é de R\$ 160,00, $VPL > 0$ (positivo).

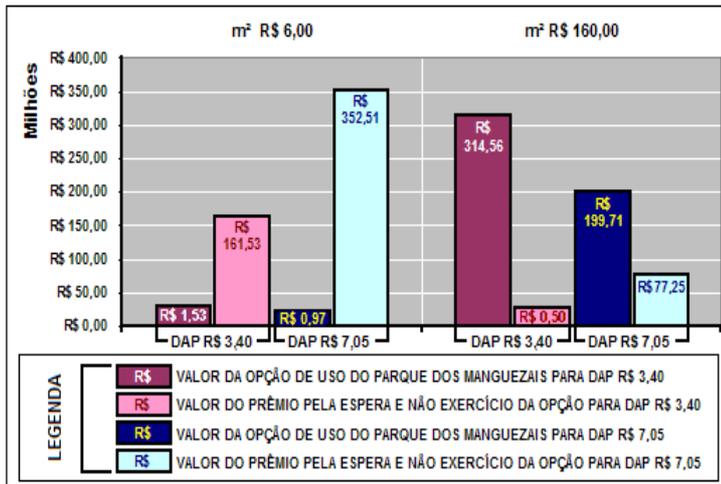
Figura 4 – VPL para Projetos de Uso Total do Parque dos Manguezais

Entretanto, o cenário muda de forma bastante razoável quando a mesma decisão de uso total é avaliada pela metodologia da Teoria das Opções Reais, por programação dinâmica, adicionando-se assim flexibilidade ao processo. Neste caso, a depender da DAP utilizada a opção de preservação do Parque pode ser a opção ótima a ser avaliada.

Para a DAP média estimada por Leite e Melo (2005) de R\$ 3,40, quando o valor do metro quadrado (m^2) do Parque dos Manguezais é R\$ 160,00, o custo de oportunidade do parque no setor imobiliário é um pouco maior que o valor crítico (V^*) calculado do parque, ou seja, R\$ 492,53 milhões > 465,04 milhões (Opção de Uso igual a R\$ 314,56 milhões com um baixo prêmio pela espera de R\$ 0,5 milhões), o que significa ser uma opção rentável a venda total do parque, à vista, para o setor imobiliário. Já quando o valor do m^2 atribuído é o de R\$ 6,00, a DAP média estimada por Leite e Melo (2005) é mais que suficiente para justificar a preservação total do local – se já era suficiente pela análise do VPL , pela metodologia das opções reais que considera a incerteza, a DAP se torna mais relevante –, pois, o custo de oportunidade do parque, neste caso, é muito menor que o V^* calculado, ou seja, R\$ 18,47 milhões < 465,04 milhões (Opção de Uso igual a R\$ 1,53 milhões com um altíssimo prêmio pela espera de R\$ 161,53 milhões) o que sugere a sociedade o não uso do parque para fins que não a sua preservação total.

Ainda com a TOR, desta vez para a DAP média estimada por Leite (2006) de R\$ 7,05. Quando o valor do m^2 do Parque dos Manguezais é R\$ 160,00 (ADEMI-PE), o custo de oportunidade do parque no setor imobiliário é muito menor que o V^* calculado, ou seja, R\$ 492,53 milhões > 964,07 milhões (Opção de Uso igual a R\$ 199,71 milhões com um prêmio pela espera de R\$ 77,25 milhões), o que significa ser mais rentável manter o parque preservado. Quando o valor do parque é decorrente da avaliação feita pela MB que atribuiu o valor de R\$ 6,00 / m^2 do parque, a DAP média estimada por Leite (2006) também é muito suficiente para justificar a preservação total do parque, pois o custo de oportunidade do manguezal é muito menor que o V^* calculado, ou seja, R\$ 18,47 milhões < 964,07 milhões (Opção de Uso igual a R\$ 0,97 milhões e altíssimo prêmio pela espera de R\$ 352,57 milhões).

Em suma, pelo método de precificação das opções reais, apenas a DAP média estimada por Leite e Melo (2005) de R\$ 3,40, não é suficiente para justificar a preservação do Parque dos Manguezais quando o valor do metro quadrado (m^2) praticado é R\$ 160,00. Pela avaliação tradicional, método do *VPL*, nenhuma das DAP estimada foi grande o bastante para superar o custo de oportunidade do parque no mercado imobiliário. Neste caso, a DAP média estimada por Leite (2006) de R\$ 7,05, já se mostra eficiente frente ao valor do m^2 na região do parque. Quando o valor do parque passa a ser calculado conforme avaliação da MB, ou seja, R\$ 6,00 / m^2 , as DAP médias estimadas confirmam a suficiência do método de avaliação do *VPL*. A Figura 5 mostra os valores estimados baseados na TOR conforme os valores do m^2 e da DAP média estimada por Leite e Melo (2005) e Leite (2006).



É possível observar que quando o preço do m^2 é R\$ 6,00, o valor do prêmio pela espera é muito maior que o valor da opção para ambas DAP média consideradas, mostrando que a preservação é a melhor escolha e quando o m^2 é R\$ 160,00, o valor da opção é maior que o valor do prêmio pela espera, entretanto, apenas quando a DAP média de R\$ 3,40 é considerada, o exercício da opção antecipado é a melhor escolha, pois o custo de oportunidade do Parque dos Manguezais é maior que o valor crítico estimado com esta média, ou seja, R\$ 492,53 milhões > 465,04 milhões.

Figura 5 – Valor de Opção (F) e Prêmio pela Espera para Projetos de Uso Total

Pois, quando o valor da DAP média é R\$ 7,05, o custo de oportunidade do parque no mercado imobiliário não supera o valor crítico estimado com esta DAP, ou seja, R\$ 492,53 milhões < 964,07 milhões, o que explica um prêmio pela espera considerável de mais de R\$ 77 milhões.

4.2 – DECISÃO DE USO PARCIAL¹⁶

Para a decisão de uso parcial do Parque dos Manguezais, considerando a construção da Via Mangue, além dos custos da obra, a estes foram acrescidos os custos ambientais, tomando como base o Valor Presente Líquido (VPL), para análise tradicional e o valor crítico (V^*) para análise das opções reais. Os valores da Tabela 2 apresentada a seguir revelam estes valores considerando-se as duas DAP estimadas.

Tabela 2 – Valores associados às duas opções de Via Mangue, conforme as DAP e os Métodos

DAP Média	VPL		TOR	
	Aterrada	Suspensa	Aterrada	Suspensa
R\$ 3,40	140,81	180,63	164,60	184,64
R\$ 7,05	156,72	183,31	206,02	191,63

Fonte: Elaborado pelos autores com os resultados da pesquisa

Neste caso, pela análise do *VPL*, conforme os valores acima, o custo ambiental não justifica o uso de melhores tecnologias, ou seja, a construção da via de forma suspensa que poupasse área do mangue, pois, a via aterrada é menos dispendiosa para a sociedade. Agora para que o projeto mais barato seja aceito, segundo a regra do *VPL*, é preciso que seus retornos esperados (V) sejam maiores que a necessidade de investimentos públicos (I), ou seja, $V > R\$ 140,81$ milhões ($VPL > 0$). O que exige Fluxo de Caixa Livre (FCL) anuais e perpétuos de no mínimo R\$ 13,24 milhões, caso contrário o projeto não é aceito.

Igualmente para o segundo caso, pela análise do *VPL*, conforme os valores acima, o custo ambiental também não justifica o uso de melhores tecnologias que poupem mais área do mangue, pois, a via aterrada

¹⁶ Refere-se a construção da avenida Via Mangue.

também é mais barata para a sociedade. Analogamente, para que o projeto mais barato, para esta DAP média, seja aceito, segundo a regra do *VPL*, é preciso que $V > R\$ 156,72$ milhões, com isso, o $VPL > 0$ (positivo). O que exige Fluxo de Caixa Livre (FCL) anuais e perpétuos de no mínimo R\$ 14,73 milhões, caso contrário o projeto não é aceito.

Para o caso das opções reais, e considerando-se a DAP de R\$ 3,40, o custo social total da obra é de R\$ 184,64 milhões. Pela TOR, esta opção vale R\$ 102,47 milhões e paga um prêmio pela espera de R\$ 37,11 milhões.

- Valor da Opção Real $[F(V)] = VPL(\text{estático}) + \text{Valor da Flexibilidade}$
- 102,47 milhões = **65,36 milhões** + 37,11 milhões

A opção de construção da Via Mangue aterrada, utilizando 8,3%: R\$ 38,60 milhões. Aumenta o custo total da obra para R\$ 164,60 milhões (126,00 + 38,60). Pela TOR, esta opção vale R\$ 110,07 milhões e paga um prêmio pela espera de R\$ 24,67 milhões. Neste caso, pela análise das opções reais, conforme os valores acima, o custo ambiental não justifica o uso de melhores tecnologias, assim como na análise do *VPL*, ou seja, a construção da via de forma suspensa que poupe área do mangue, pois, a mesma é mais cara para a sociedade. O que a torna uma opção menos valiosa com um prêmio maior pela espera.

Agora para que a opção mais valiosa seja exercida ($F = 110,07$ milhões), segundo a regra das opções reais, é preciso que seus retornos esperados (V) sejam 2,61 vezes maiores que a necessidade de investimentos públicos (I), diferentemente da regra do *VPL*, em que $V > R\$ 164,60$ milhões ($VPL > 0$) é a regra para o exercício. Neste caso para ser exercido pela metodologia das opções reais V deve ser maior que R\$ 428,88 milhões (para $V > V^*$). O que exige Fluxo de Caixa Livre (FCL) anuais e perpétuos de no mínimo R\$ 40,32 milhões, caso contrário o projeto fica aguardando haja vista o prêmio pela espera do exercício desta opção.

Para a DAP de R\$ 7,05, a opção de construção da Via Mangue suspensa, o custo total da obra vai para R\$ 191,63 milhões (178,13 + 13,50). Pela TOR, esta opção vale R\$ 100,12 milhões e paga um prêmio pela espera de R\$ 41,74 milhões.

A opção de construção da Via Mangue aterrada aumenta o custo total da obra para R\$ 206,02 milhões (126,00 + 80,02). Pela TOR, esta opção vale R\$ 95,70 milhões e paga um prêmio pela espera de R\$ 51,72 milhões.

Ou seja, pela análise das opções reais, conforme os valores revelam, o custo ambiental justifica o uso de melhores tecnologias, diferentemente dos casos anteriores abordados, ou seja, a construção da via de forma suspensa que poupe área do mangue, pois a mesma agora é mais barata para a sociedade. O que a torna uma opção mais valiosa com um prêmio menor pela espera em relação à construção de forma aterrada. Agora, para que a opção mais valiosa seja exercida ($F = 100,12$ milhões), segundo a regra das opções reais, é preciso que seus retornos esperados sejam maiores que R\$ 499,21 milhões (para $V > V^*$). O que exige Fluxo de Caixa Livre (FCL) anuais e perpétuos de no mínimo R\$ 46,93 milhões, caso contrário o projeto fica aguardando haja vista o prêmio pela espera do exercício desta opção.

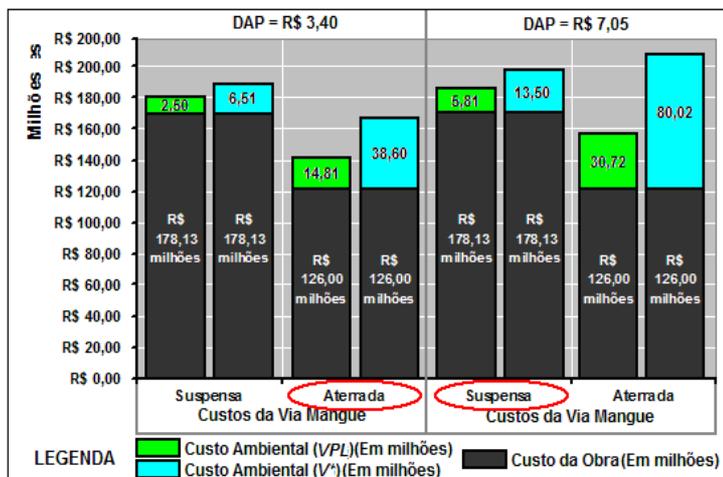


Figura 6 – Valor de Opção (F) e Prêmio pela Espera para Projetos da Via Mangue

Conforme pode ser observado na Figura 6, as DAP médias estimadas por Leite e Melo (2005) e Leite (2006) não são suficientes para justificar a utilização de tecnologia concernente a preservação do Parque

dos Manguezais quando a avaliação do uso parcial do parque é feita pela metodologia baseada no Fluxo de Caixa Descontado (FCD). Conforme a metodologia tradicional, a forma de construção aterrada continua sendo a mais barata mesmo depois de acrescentados os custos relativos aos danos ambientais esperados, seja para DAP de R\$ 3,40, seja para DAP de R\$ 7,05.

Entretanto, quando a avaliação da utilização de parte do parque é realizada pela abordagem das opções reais, a construção aterrada é mais barata apenas quando a DAP média é igual a R\$ 3,40. Quando for considerada a DAP média estimada por Leite (2006) igual a R\$ 7,05, a modalidade de construção suspensa passa a ser a mais barata, o que é suficiente para justificar a utilização de tecnologias caras, mas poupadoras de ativo ambiental para construção da Via Mangue.

A Tabela 3 abaixo traz um resumo de todos os valores apresentados até agora, a partir da qual uma análise mais conclusiva é possível.

Tabela 3 – Valores Encontrados para Opções (Em Milhões de Reais)

DAP	Opção	V	Custos (Investimentos)		FCL	VPL	V*	FCL	A	F	Prêmio	
			Obras	Ambientais	Total	VPL = 0		V = V*			Espera	
R\$ 3,40	Uso Total (Marinha)	18,47	178,47	178,47	178,47	16,78	(160,00)	465,04	43,71	2,46.e ⁻⁶	1,53	161,53
	Uso Total (ADEMI-PE)	492,53	178,47	178,47	178,47	16,78	314,06	465,04	43,71	2,46.e ⁻⁶	314,56	0,50
	Via Mangue (Suspensa)	250,00	178,13	6,51	184,64	17,36	65,36	481,10	45,22	2,41.e ⁻⁶	102,47	37,11
	Via Mangue (Aterrada)	250,00	126,00	38,60	164,60	15,47	85,40	428,88	40,31	2,59.e ⁻⁶	110,07	24,67
R\$ 7,05	Uso Total (Marinha)	18,47	-	370,07	370,07	34,79	(351,60)	964,07	90,62	1,56.e-6	0,97	352,57
	Uso Total (ADEMI-PE)	492,53	-	370,07	370,07	34,79	122,46	964,07	90,62	1,56.e-6	199,71	77,25
	Via Mangue (Suspensa)	250,00	178,13	13,50	191,63	18,01	58,37	499,21	48,93	2,35.e-6	100,12	41,74
	Via Mangue (Aterrada)	250,00	126,00	80,02	206,02	19,36	43,98	536,70	50,45	2,24.e-6	95,70	51,72

Fonte: Elaborada pelos autores. Notas:

- Coluna Opção identifica as opções de gerenciamento para o Parque dos Manguezais;
- Coluna V representa os fluxos de caixa do projeto descontados a taxa $r = 9,4\%$;
- Coluna Obras mostra os gastos com as obras;
- Coluna Ambiental mostra os danos ambientais;
- Coluna Total = Obras + Ambiental;
- Coluna FCL para $VPL = 0$, mostra o FCL anual mínimo e perpétuo para o Investimento Total;
- Coluna $VPL = V - \text{Total}$ (Investimentos);
- Coluna V^* mostra o valor do gatilho ou crítico para a aceitação do projeto (Equação 30);
- Coluna FCL para $V = V^*$, mostra o FCL anual mínimo e perpétuo para o exercício imediato;
- Coluna A é a constante da função de $F = AV^B$ conforme condições de contorno (Equação 29);
- Coluna F representa o valor da opção (Equação 25); e
- 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 na pesquisa, quando o valor do metro quadrado (m²) considerado do parque é R\$ 6,00, conforme avaliação da Marinha do Brasil (MB), os valores das DAP são muito 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 re-

gra 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 o não uso do ativo ambiental e pela análise das opções reais, apenas a DAP média de R\$ 7,05 é suficiente para justificar a conservação total do parque.

Em relação à opção de uso parcial do Parque dos Manguezais, a opção de construção da via Mangue suspenso 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, pois, apesar dos acréscimos ao custo, o impacto no custo da obra não foi relevante, consequentemente a forma de construção aterrada continua sendo a mais barata. Entretanto, quando se procede com a abordagem das opções reais, a construção aterrada apenas é mais barata quando a DAP média é igual a R\$ 3,40, quando a DAP média estimada por Leite (2006) igual a R\$ 7,05 é considerada, a construção suspensa passa a ser a mais barata passando a justificar a utilização de tecnologias caras mas que degrade menos o meio ambiente, o mangue.

Em relação ao bem-estar social, diante da crescente necessidade de urbanização das cidades em detrimento a preservação dos recursos naturais, a Avaliação Social de Projetos (ASP) torna-se importante instrumento para tomada de decisão, pois, dimensiona os impactos (calcula os custos) ao meio ambiente que uma decisão de uso gera a terceiros, sejam os efeitos benéficos (externalidades positivas) ou adversos (externalidades negativas). No caso de externalidades negativas, quando os danos causados a terceiros não são pagos pelos agentes causadores, ou seja, não são internalizados, o mercado não pode ser considerado eficiente haja vista a perda de bem-estar social ocorrida nesta economia. No caso do Parque dos Manguezais, objeto desta pesquisa, o uso das diferentes metodologias para a ASP das opções de gerenciamento é uma tentativa de incluir na análise econômica os custos ambientais e, pelo menos, corrigir as tendências negativas da não internalização dos efeitos externos ocasionados pelo uso do mangue.

Para a opção de uso total, conforme a metodologia do *VPL*, a perda de bem-estar social para a DAP de R\$ 3,40 é de R\$ 178,47 milhões, e para a DAP de R\$ 7,05 é de R\$ 370,07 milhões. Contudo, quando a metodologia de avaliação utilizada é a TOR, a perda de bem-estar social aumenta consideravelmente. Para a DAP de R\$ 3,40 é de R\$ 465,04 milhões, e para a DAP R\$ 7,05 é de R\$ 964,07 milhões. O que significa para sociedade uma perda de bem-estar quase de 1 bilhão de reais.

Para a opção de uso parcial, conforme a análise *VPL*, a perda de bem-estar social vai de R\$ 2,50 milhões até R\$ 30,72 milhões, conforme a DAP considerada e do percentual de comprometimento do ativo ambiental. Já pela análise das opções reais, a perda de bem-estar social vai de R\$ 6,51 milhões até R\$ 80,02 milhões, dependendo também dos valores considerados da DAP e da área comprometida pela obra.

Desta forma as duas hipóteses básicas estabelecidas foram comprovadas. 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 média estimada por Leite e Melo (2005) só é suficiente para justificar a preservação do meio ambiente quando o preço do m^2 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 impor-

tância 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\$ 465,04 milhões [DAP = R\$ 3,40] e R\$ 964,07 milhões [DAP = R\$ 7,05]. Estes valores foram encontrados conforme a necessidade de investimentos para obra de construção. Estes valores (gatilho) foram 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 BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, J.R. de; MONTEIRO, A.G.; ALMEIDA, M.B. **Avaliação Econômica de um Agroecossistema através da Energia Cultural**. In: IV Enc Nacional de Economia Ecológica, 2001, Belém.
- ARROW, K.; FISHER, A.C. **Environmental preservation, uncertainty and irreversibility**. Quarterly

Journal of Economics. 86(2): 312-319. 1974.

BANN, C. **The economic valuation of mangroves: a manual for researchers**. The Economy and Environment Programme for Southeast Asia (EEPSEA), 1997.

BARROS, A.R. **Fundamentos Econômicos da Dinâmica da Pesca em Pernambuco**. Revista Econômica do Nordeste, Fortaleza, v. 32, n. Especial p. 569-591, novembro 2001

BISHOP, R.C.; CHAMP, P.A.; MULLARKEY, D.J. **Contingent Valuation**. Capítulo 28 do Livro Environmental Economics. Ed. Daniel Bromley. Blackwell Publishers, Inc, 1995.

BRANDÃO, L.E.T.; HACON, S.; SAMPAIO, M. **Análise Econômica: Uma ferramenta para gestão ambiental - Estudo de Caso: Repovoamento da Lagoa do Ibiraquera com Pós Larva de Camarão Marinho**. V Encontro Nacional de Gestão Empresarial e Meio Ambiente. FEA/USP e EAESP/FGV, São Paulo, 1999.

BLACK, F.; SCHOLES, M. **The Pricing of Options and Corporate Liabilities**. Journal of Political Economy 81, 637-59. 1973.

CARVALHO, A. **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 out. 2000.

CONRAD, J.M. **On the Option Value of Old Growth Forest**. Ecological Economics n. 22, pp. 97-102, 1997.

COPELAND, T.; ANTIKAROV, V. **Opções Reais: Um novo paradigma para reinventar a avaliação de investimentos** Tradução de Maria José Cyhlar. Rio de Janeiro: Campus, 2003.

DIAS, M.A.G. **Opções reais híbridas com aplicações em petróleo**. Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Industrial, 2005.

DIXIT, A. K.; PINDYCK, R. S. **Investment under uncertainty**. Princeton Univ Press, Princeton, 1994.

_____. **The Options Approach to Capital Investment**. Harvard business review. May-June, 1995.

DUBEUX, C. B. S. **A valoração econômica como instrumento de gestão ambiental – O caso da despoluição da Baía de Guanabara [Rio de Janeiro] - Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE (M.Sc., Planejamento Energético), 1998.**

FARROW, S. **Using Risk Assessment, Benefit-Cost Analysis, and Real Options to Implement a Precautionary Principle: Cases in the Regulation of Air Quality, Petroleum Leasing, Safety, and Genetically Modified Crops**. 2001.

FAVELAS **ameaçam área do Parque dos Manguezais**. Jornal do Commercio, Recife, 13.jun.2004. Ciência e Meio Ambiente, p. 5.

FISHER, A.C.; HANEMANN, W.M. **Environmental Damages and Option Values**. Natural Resource Modeling 1: 111-124, 1986.

FORSYTH, M. **On estimating the option value of preserving a wilderness area**. Canadian Journal of Economics, vol. 33, issue 2, pages 413-434, 2000.

HENRY, C. **“Investment Decisions Under Uncertainty: The Irreversibility Effect”**. American Economic Review. 64: 106-1012. 1974.

HOMMA, A.K.O.; WALKER, R.T.; CARVALHO, R.A.; CONTO, A.J.; FERREIRA, C.A.P. **Razões de risco e rentabilidade na destruição de recursos florestais: o caso de castanhais em lotes de colonos no Sul do Pará**. Revista Econômica do Nordeste, Fortaleza, 27(3):515-535, jul./set. 1996.

KASSAR, I.; LASSERRE, P. **Species preservation and biodiversity value: a real options approach**. Journal of Environmental Economics and Management, Elsevier, vol. 48(2), pp 857-879, Set, 2004.

LEITE, J. C. L. ; MELO, A. S. S. A. . **Valoração de área de mangue no Recife usando o método de valoração contingente**. In: 9a. Escola de Modelos de Regressão, 2005, São Pedro/SP. 9a. Escola de Modelos de Regressão. São Paulo/SP : Associação Brasileira de Estatística, 2005. v. 1. p. 54-54.

LEITE, J.C.L. **O método de valoração contingente: uma estimação da disposição a pagar utilizando**

- um modelo econométrico flexível quanto a forma.** 2006. 131 f. Tese (Doutorado em Economia). Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- MEIRELES, A.J.A. **Os riscos sócio-ambientais ao longo da zona costeira.** 57ª Reunião Anual da SBPC e Sociedades Científicas. Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza. 2005.
- MENEZES, J.L.M. **O Urbanismo Holandês no Recife - Permanências no Urbanismo Brasileiro.** Comunicação apresentada no Colóquio "A Construção do Brasil Urbano", Lisboa, 2000.
- MERTON, R.C. **Theory of rational option pricing.** Bell Journal of Economics and Management Science, Vol. 4, Spring, 141-83. 1973.
- MYERS, S.C. **Determinants of Corporate Borrowing.** Journal of Financial Economics. n. 5. p. 147-75. Nov, 1977.
- MOTA, R.S. **Manual de Valoração Econômica de Recursos Ambientais.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente (MMA), 1998.
- ORTIZ, R.A. **Valoração Econômica Ambiental** In MAY, P.H, LUSTOSA, M.C. e VINHA, V. da, (Organizadores). **Economia do Meio Ambiente.** Rio de Janeiro: Campus, 2003.
- RECIFE. Lei nº 16.176, de 09 de abril de 1996 - **Lei de Uso e Ocupação do Solo da Cidade do Recife – LUOS.**
- _____. **Relatório de Diagnóstico Zona Especial de Preservação Ambiental – ZEPA 2.** Recife: Prefeitura da Cidade do Recife, 2004.
- _____. **Via Mangue.** Secretaria de Planejamento, Urbanismo e Meio Ambiente, 2007.
- TOURINHO, O. **The option value of reserves of natural resources.** Working paper n. 94. University of California at Berkeley, 1979.
- TRIGEORGIS, L. **Real Options in Capital Investment: Models, Strategies and Applications.** Westport: Praeger, 1995.
- WESSELER, J. **On the Real Option Value of Scientific Uncertainty for Public Policies – 7th Annual International Conference on REAL OPTIONS,** Washington DC, 2003.