

# Metodologias e técnicas para análise ambiental de projetos de investimento

Marcos H. F. Vital, Frederico C. Carvalho e Marco A. C. Pinto

<http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>

## **Metodologias e técnicas para análise ambiental de projetos de investimento**

Marcos H. F. Vital  
Frederico C. Carvalho  
Marco A. C. Pinto\*

### **Resumo**

Com a crescente incorporação de questões ambientais no âmbito corporativo, novas técnicas de análise financeira e econômica de projetos têm surgido. De forma geral, as técnicas partem do arcabouço tradicional de análise e passam a incorporar custos e benefícios ambientais anteriormente ignorados. A utilização das técnicas tradicionais de análise, sem incorporação de variáveis ambientais, pode levar à subestimação ou à superestimação dos indicadores econômicos e financeiros de projetos. Na primeira seção, após a introdução, procede-se à revisão bibliográfica de técnicas tradicionais para análise financeira de projetos e das novas metodologias de valoração de ativos, bens e serviços ambientais. Na se-

---

\* Respectivamente, economistas do Departamento de Meio Ambiente da Área de Meio Ambiente; coordenador do Departamento de Comércio Exterior II, da Área de Comércio Exterior, e professor adjunto da Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense (UFF).

gunda seção, discutem-se técnicas de análise econômica e metodologias que incorporem variáveis ambientais. Na terceira seção, são analisados exemplos hipotéticos, fazendo uso do instrumental mencionado nas seções anteriores. Na quarta seção, apresentam-se as conclusões.

## Introdução

A incorporação das questões socioambientais nas decisões dos diferentes agentes econômicos torna premente o surgimento de técnicas financeiras e econômicas para valoração de impactos socioambientais de projetos de investimento. Os estudos de impacto ambiental (EIA) podem ser utilizados como ponto de partida para a quantificação dos impactos biofísicos de um projeto. Por sua vez, espera-se que esses impactos sejam monetizados e incorporados na análise econômico-financeira dos projetos, principalmente aqueles de maior risco de dano ambiental.

A ciência econômica distingue com clareza os seguintes conceitos: avaliação financeira e avaliação econômica de projetos. Enquanto a avaliação financeira compara benefícios privados pecuniários diretos de dado projeto com seus custos monetários diretos,<sup>1</sup> a avaliação econômica considera, usualmente, externalidades e efeitos indiretos. Na análise econômica, externalidades positivas devem ser incorporadas aos benefícios dos projetos, enquanto externalidades negativas são incorporadas a seus custos. Impostos arrecadados também costumam diferenciar taxas de retorno privadas das sociais.

Durante certo tempo, a teoria microeconômica tradicional tratou a disponibilidade de recursos naturais como infinita, dado que a substituíbilidade entre fatores de produção era, por vezes, considerada perfeita, para um dado estado tecnológico. De acordo com a microeconomia tradicional, a crescente escassez de dado recurso natural levaria ao aumento de seu preço, à conseqüente criação de incentivos para inovação tecnológica e à introdução de um bem substituto. Se a terra se torna escassa e seu preço se eleva, as atividades agrícolas intensificam o uso de tecnologia para compensar a elevação do preço, por exemplo. Já, segundo a ecologia e a escola conhecida como economia ecológica, certas alterações ambientais são consideradas irreversíveis, e recursos naturais (água, terra e fauna

<sup>1</sup> Por meio de técnicas discutidas adiante (fluxo de caixa descontado, valor presente líquido, taxa interna de retorno privado, análise de custo-benefício etc.).

marinha, entre outros) não podem ser simplesmente substituídos ou fabricados pela humanidade. Seria impossível, ao atual estado tecnológico, trazer de volta certas espécies de flora e fauna já extintas, por exemplo.

Contribuições recentes em macroeconomia procuram incorporar o estoque de recursos naturais no total de ativos de dada economia, uma vez que diversos bens e serviços podem ser obtidos na natureza (madeira, hidreletricidade e agricultura).

As all economic development depends either directly or indirectly on the available supplies and quality of natural resources, stocks of natural capital should be preserved, conserved, expanded, rehabilitated, restored or improved to support long-term economic development. If natural capital is not properly managed, the prospects for long-term development may be limited [James (1994)].

De acordo com tal visão, o produto potencial seria limitado pela disponibilidade não apenas de capital e mão de obra, mas também de todos os bens e serviços naturais que o ecossistema pode oferecer.

O objetivo do presente estudo é verificar a hipótese de existência de diferenças significativas entre as avaliações financeira e econômica sem a introdução de variáveis ambientais e as metodologias que buscam incorporação de variáveis ambientais. A hipótese de existência de discrepâncias entre valores encontrados no emprego de diferentes metodologias é testada com base em exemplos numéricos hipotéticos.

### **Metodologias de avaliação financeira de projetos**

A ciência econômica faz distinção entre técnicas de avaliação financeira e técnicas de avaliação econômica de projetos de investimentos. A distinção mais objetiva refere-se à ótica ou à perspectiva pela qual se avaliam os projetos. De modo geral, a análise de projetos desenvolvida segundo o ponto de vista privado utiliza instrumentos financeiros que enfatizam a maior rentabilidade possível para o capital empregado. Já, segundo a visão pública da formulação de políticas de interesse nacional, empregam-se instrumentos de análise econômica – sobre os pilares do ramo da ciência econômica conhecido como “economia do bem-estar” ou “escolha pública”. Assim sendo, a análise financeira tradicional é um instrumento para análise de projetos de investimento por empresas, enquanto a análise econômica é um instrumento de análise de projetos pelo setor público [Arrow (1951)].

## A análise financeira tradicional

Metodologias para análise financeira de projetos concentram-se, usualmente, na viabilidade, na rentabilidade e nos riscos da realização de dado empreendimento, assim como na robustez frente às mudanças de cenários econômicos.<sup>2</sup> Um dos objetivos da análise financeira é auxiliar a escolha da firma com relação às suas múltiplas alternativas de investimento. Pela visão do financiador do projeto, considera-se usualmente, ainda, a situação econômica e financeira da empresa e não somente do projeto. Em conjunto, as técnicas financeiras determinam o fluxo de caixa do projeto, sua rentabilidade e sua capacidade de pagamento.

No caso de agências e bancos públicos de fomento, uma atenção especial deve ser dada à rentabilidade social<sup>3</sup> do projeto em análise. Isso porque existem efeitos indiretos não considerados na análise financeira feita no âmbito estritamente privado), mas que devem ser considerados por agências de fomento, tais como: (1) empregos diretos e indiretos gerados pelo projeto; (2) efeito multiplicador e acelerador dos investimentos sobre a cadeia produtiva e a renda da região; e (3) impostos arrecadados pelo município, pelo estado ou pela União por conta de atividades oriundas da operação do projeto. Quando tais fatores são incorporados às metodologias convencionais de análise de rentabilidade, inferem-se conclusões importantes sobre o projeto que não estão captadas e sintetizadas nos indicadores convencionais de análise financeira. O uso das taxas internas de retorno social auxilia o analista de projeto a entender se dado empreendimento terá seus benefícios apropriados apenas por certo ente privado ou se a coletividade ou região de entorno de um projeto também será beneficiada.

Utiliza-se, na análise financeira, uma série de indicadores técnicos como base para tomada de decisão prévia do empreendedor. Esses indicadores sintetizam a informação acerca das receitas e dos custos esperados do projeto. Entre os indicadores disponíveis na literatura, mencionam-se os mais comumente usados por empresas em suas decisões de investimento e também por bancos em suas análises de concessão de crédito a empreendimentos – cujo risco (até mesmo o de dano ambiental) é variado.

<sup>2</sup> De modo geral, o ambiente macroeconômico é suposto exógeno, e suas principais variáveis (juros, renda, taxa de câmbio, inflação e emprego) são utilizadas na forma de “premissas”.

<sup>3</sup> Retorno que determinada atividade irá gerar para a sociedade como um todo, aumento do bem-estar social. A rentabilidade social irá diferir da rentabilidade privada na presença de falhas de mercado.

Quadro 1 | Metodologias para análise financeira

Indicador	Fórmula
VPL	$\sum_{t=1}^n [FC_t / (1+k)^t] - I_0$
Fluxo de caixa descontado	$\sum_{t=1}^n [FC_t / (1+i)^t]$
Payback	Pb = Investimentos/receitas
TIR	$\sum_{t=1}^n [FC_t / (1+TIR)^t] - I_0 = 0$
Benefício/custo	$\sum_{t=1}^n B / \sum_{t=1}^n C$
Fórmula de Faustmann	$VET = (p \cdot V - I e^{r \cdot t}) \cdot (e^{r \cdot t} - 1) - 1$

Fonte: James (1994) e Faustmann (1947).

VET = valor esperado da terra (valor presente da série infinita de rotações florestais);<sup>4</sup>

p = preço por unidade de volume;

V = volume;

(I e<sup>r.t</sup>) = custo de implantação no ano t, a uma taxa de juros instantânea;

(e<sup>r.t</sup>-1) - 1 = multiplicador para valor presente de séries periódicas perpétuas.

Cada metodologia se baseia em regra de decisão específica. Por exemplo, se dada firma se defronta com portfólios de investimentos  $I(I_1, I_2, \dots, I_n)$  alternativos e de mesmo porte e se a metodologia utilizada for o valor presente líquido (VPL), a regra de decisão será escolher o projeto com VPL positivo. Se, por outro lado, a metodologia utilizada for a taxa interna de retorno privado (TIRP), deve-se comparar a taxa de retorno do projeto com o custo de oportunidade do capital, expresso, de forma geral, na taxa de juros com prazo compatível.

Por sua vez, a análise de sensibilidade é realizada, usualmente, com o objetivo de determinar o impacto da variação de parâmetros selecionados sobre critérios de decisão para dado projeto. Tais parâmetros, variáveis exógenas ao tomador de decisão, podem ser, por exemplo, o preço esperado do produto, a taxa de câmbio, as taxas de juros e o crescimento das vendas.

<sup>4</sup> Naturalmente, a fórmula de Faustmann pode ser generalizada para qualquer atividade intensiva em terra, como plantio de soja, criação de gado, plantação de eucalipto, inclusive como modo de comparar a rentabilidade do uso da terra em seus diversos fins.

Naturalmente, a análise financeira de projetos de investimento contempla ainda questões relativas à estrutura de financiamento. Entre essas, incluem-se sofisticadas técnicas de *project finance* – abstraídas para fins desta análise, em que se deseja focar nos custos diretos de produção, assim como nas externalidades envolvidas em cada exemplo discutido.

O fluxo de caixa de dado projeto (assim como outros indicadores econômicos discutidos) pode ser calculado com o auxílio de planilhas, que permitem modelagem tão sofisticada quanto se deseje para a determinação de variáveis selecionadas. Portanto, serão utilizadas nos exemplos desenvolvidos adiante e mostradas no Anexo.

Antes de proceder à introdução das variáveis ambientais nas metodologias tradicionais de análise de projeto, é necessária breve digressão acerca da recente literatura em ciência econômica voltada para o estudo da precificação e da atribuição de valores monetários aos ativos, bens e serviços ambientais, discutido na subseção seguinte.

Na terceira seção, citam-se exemplos em que, além da análise financeira tradicional, sugerem-se variantes nas quais variáveis ambientais são incorporadas à análise de projetos, a fim de reduzir as discrepâncias já teoricamente discutidas.

### A análise financeira de projetos e as variáveis socioambientais

Com base nos indicadores explicitados anteriormente, mostra-se como custos e benefícios ambientais podem ser incorporados na análise financeira de projetos de investimento. De acordo com James (1994), parte-se da fórmula de valor presente líquido, explicitada anteriormente, somando-se ou subtraindo-se o que anteriormente era desconsiderado – as externalidades tanto positivas quanto negativas:

$$VPL_a = \sum_{t=1}^n B_d - C_d - C_p + B_e + B_o - C_o$$

$B_d$ : benefícios diretos do projeto

$C_d$ : custos diretos do projeto

$C_p$ : custos de proteção do meio ambiente

$B_e$ : benefícios ambientais

$C_e$ : custos dos danos ambientais residuais

$B_o$ : valor dos benefícios indiretos e secundários

$C_o$ : valor dos custos indiretos e secundários<sup>5</sup>

Como exemplo de custos de proteção do meio ambiente, podem-se citar o cumprimento de condicionantes de licenças ambientais, a obediência ao código florestal e o custo de implementação de sistemas de gestão ambiental. Em muitos casos, são fixados alguns indicadores e padrões ambientais a serem atingidos pelo empreendedor. Tais padrões, muitas vezes expressos por meio de resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama), requerem investimentos específicos em tecnologias de melhoramento das condições ambientais de determinados empreendimentos.<sup>6</sup> De modo geral, alguns custos de proteção ambiental estão associados à operação do projeto, enquanto outros já se encontram explícitos no bojo do plano de negócios, como ações mitigatórias.

Como exemplo de benefícios ambientais, tem-se a utilização de resíduos da produção ou do consumo com emprego para gerar renda ou diminuir custos. De modo geral, tais benefícios ambientais não são contemplados em propostas de investimento (novamente, pela presença de economias externas ou males públicos).<sup>7</sup>

Como exemplo de custos dos danos ambientais residuais, há os custos de reparação ou de realocação (os postos de gasolina são exemplos de terrenos com elevados custos residuais). Nesse caso, entrariam, ainda, a resolução e/ou a remediação de passivos ambientais.

Já os custos e benefícios indiretos e secundários são impactos não contabilizados no fluxo de caixa do projeto de investimento.

Sendo assim, o método do valor presente líquido pode ser utilizado nos casos em que preços para bens e serviços ambientais possam ser estimados e/ou quando os direitos de propriedades são bens definidos.<sup>8</sup>

<sup>5</sup> No entanto, diferentemente de James (1994), propõe-se que entre na equação apenas variáveis que tenham custos e benefícios que possam ser apropriados internamente pelo empreendedor. Na prática, nessa fórmula só entrará variáveis que possuam preço de mercado. Além disso, a diferença para as fórmulas tradicionais é o enfoque nas variáveis  $C_p$ ,  $B_e$  e  $C_e$ .

<sup>6</sup> Resolução Conama 357, que determina a qualidade dos efluentes líquidos a serem lançados em corpos hídricos nacionais.

<sup>7</sup> Em contraposição ao conceito de bem público (não rival e não excludente).

<sup>8</sup> É possível também a inclusão de bens e serviços ambientais que ainda não tenham preços, mas que provavelmente serão internalizados no futuro, como a cobrança pelo uso da água e os impostos sobre a emissão de gases de efeito estufa.



O Exemplo 1, na terceira seção, ilustra a utilização da fórmula citada anteriormente para uma floresta com fins comerciais.

Em síntese, se impactos ambientais forem desconsiderados na análise financeira ou econômica, a rentabilidade dos projetos será ou superestimada ou subestimada (vide Exemplos 1 e 2, na terceira seção).

Uma vez desenvolvida a metodologia teórica para incorporação das variáveis socioambientais na análise de projeto, o passo seguinte seria quantificar custos e benefícios anteriormente desconsiderados. Para tanto, recentes contribuições nas ciências econômicas têm constituído duas escolas de pensamento: a economia do meio ambiente (técnicas tradicionais de microeconomia aplicadas à análise de questões ambientais) e a economia ecológica (enfoque sistêmico da ecologia com a economia). Não é objetivo do presente trabalho resenhar a literatura nesse último ramo, mas vale notar os seguintes textos seminais: Boulding (1966), Georgescu-Roegen (1971), Daly (1968) e Odum (1971).<sup>9</sup>

No contexto do debate sobre análise financeira de projetos com incorporação de variáveis ambientais, encontram-se distintas metodologias de valoração de ativos ambientais, conforme descritas no Quadro 2 [Motta (2006) e May, Lustosa e Vinha (2003)].

Em geral, a análise de sensibilidade é realizada variando preços, vendas e câmbio, entre outros fatores que possam ter impacto sobre as operações da empresa. Com a introdução de variáveis ambientais na análise de sensibilidade, é possível observar efeitos não esperados sobre o valor do projeto de investimento.

É possível realizar a análise de sensibilidade socioambiental, por exemplo, supondo cenários de mudança de regime de chuvas, decorrente de alterações climáticas inesperadas. A mudança no regime pluviométrico irá alterar a produtividade das atividades agrícolas e, conseqüentemente, a quantidade produzida de alimento. Ou, ainda, variações na intensidade de radiação solar e na umidade do ar podem elevar os riscos de queimadas, destruindo parte dos ativos florestais de um país.<sup>10</sup>

<sup>9</sup> Enquanto a economia do meio ambiente se baseia nos conceitos newtonianos de equilíbrio e movimento entre estados de equilíbrio, a economia ecológica baseia-se em conceitos termodinâmicos (como entropia e exergia) para analisar as relações de produção.

<sup>10</sup> Em 2010, o Brasil experimentou estações de baixa umidade do ar, sobretudo na região Centro-Oeste, o que acarretou grande número de queimadas. Em comunidades que vivem do extrativismo, isso representa contração da curva de possibilidade de produção.

Quadro 2 | Metodologias para avaliação ambiental

Método	Fórmula/comentário
Avaliação contingente	Entrevista: objetivo de descobrir preferência em relação a determinado bem ou serviço ambiental
Ranqueamento contingente	Entrevista: ranqueamento das preferências por diversos bens e serviços ambientais
Preços hedônicos	$P_i = P(Q_i, X_1, X_2, \dots, X_n)$
Custo de viagem	$V = f(CV, X_1, X_2, \dots, X_n)$
Custos de reconstrução	Soma de todos os custos necessários para repor o bem ou serviço afetado na qualidade original
Gastos defensivos	Soma de preços de bens substitutos perfeitos
Produtividade marginal	Mensuração da variação na função de produção, quando o bem ou serviço ambiental é um fator de produção
Transferência de benefícios	Adaptação de estimativas de bens e serviços ambientais para situações semelhantes
Capital humano ou produção sacrificada	Estimativa da renda ou produção presente perdida em decorrência de uma morte

Fonte: Elaboração própria.

## Metodologias de avaliação econômica de projetos

No presente trabalho, denominou-se análise econômica de projetos de investimento a utilização da análise de estática comparativa em micro-economia, embora a incorporação de efeitos indiretos em metodologia de análise financeira também faça parte de tal arcabouço.<sup>11</sup> Inicialmente desenvolvido por Marshall (1890) – análise de “equilíbrio parcial” –, esse método de análise foi posteriormente generalizado e aperfeiçoado por L. Walras (1974) e matematicamente formalizado por Arrow e Debreu (1954) – análise de “equilíbrio geral”. Tais métodos são a base para a discussão das escolhas públicas, isto é, da melhor forma de utilizar recursos da sociedade (empresas e famílias), recolhidos pelo governo na forma de impostos (diretos e indiretos) e gastos com investimentos, custeios, subsídios e transferências [Simonsen e Cysne (2009)].

<sup>11</sup> Como na literatura acerca de “taxas internas de retorno social”.

De acordo com Muller (2003), a teoria da escolha pública, ou teoria do bem-estar social, é assim definida: “... *The economic study of non-marketing decision making...*”<sup>12</sup>

Arrow (1951), um dos fundadores da teoria da escolha pública, demonstra que, em determinadas hipóteses relacionadas ao formato de curvas de produção (formas de tecnologias) e consumo (preferências dos consumidores) e, portanto, de oferta e demanda agregadas, os sistemas econômicos poderiam, em tese, alocar eficientemente os recursos de dado país. Arrow (1951) demonstra que, em tais hipóteses, o sistema de preços (incentivos) tenderia a ser suficiente para induzir agentes individuais a tomar decisões de consumo e investimento que tenderiam a igualar oferta e demanda agregada. Em tais condições, nenhuma outra alocação de recursos poderia levar a sociedade a um nível de bem-estar social (lucros máximos e utilidades máximas) comparativamente melhor que o naturalmente estabelecido pelas escolhas individuais (firmas e famílias). Essa ideia foi formalizada mais tarde por Pareto (1909) e é conhecida como situação “ótima de Pareto”. Vale lembrar, ainda, o que se conhece por primeiro e segundo teoremas do bem-estar-social.

Simonsen (1969) assim define o primeiro teorema fundamental da teoria do bem-estar: “na ausência de externalidade, bens públicos, com funções de custo convexas, preferências convexas, todo equilíbrio competitivo é um ótimo de Pareto.” Diferentemente da teoria, na dinâmica da economia real são previstas situações em que não são satisfeitos os axiomas de Debreu e Arrow (e, de forma equivalente, de Marshall, Ricardo, Walras ou Jevons). Em tais casos, em que há “falhas de mercado”, certos bens tendem a ser subofertados e outros superofertados.

### A análise microeconômica tradicional

A análise econômica tradicional faz uso de conceitos como excedente do consumidor, excedente do produtor e bem-estar-social, de modo a avaliar duas ou mais situações (com ou sem a presença de um dado projeto de investimento, por exemplo) ou impactos de ações específi-

---

<sup>12</sup> Grande parte da literatura em escolha pública discute as possibilidades e impossibilidades de agregar preferências individuais no sentido de construir uma “curva de bem-estar social”. As discussões são amplas e um ponto ressaltado é a não satisfação do axioma da transitividade, conhecido como “paradoxo da escolha pública” ou “teorema da impossibilidade”, de Arrow (1951).

cas de agentes econômicos (sejam eles empresas, consumidores ou o próprio governo).

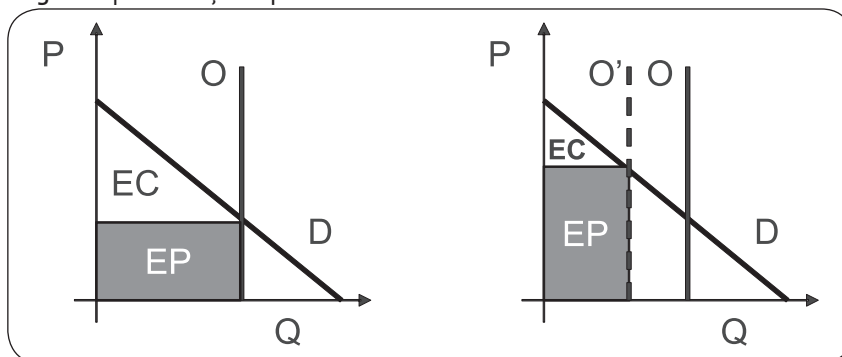
*Choque tradicional de oferta: o excedente do consumidor, o excedente do produtor e uma análise de alteração de bem-estar em modelo de equilíbrio parcial*

A presente análise de equilíbrio parcial mostra os efeitos sobre o mercado de alimentos em uma economia que sofre um desastre natural (inundação, geadas, furacões, secas etc.). Supõem-se as seguintes características:

- i) a curva de oferta no curto prazo é muito inelástica, dado que existe um prazo de tempo para crescimento de alimentos; e
- ii) a curva de demanda, por sua vez, também é relativamente inelástica, dada a necessidade premente da alimentação para sobrevivência.

Supõe-se que um choque de oferta tenha atingido apenas a região especializada na produção de arroz, sem afetar a oferta dos demais alimentos no país.

Figura 1 | Mudanças esperadas no excedente do consumidor



Fonte: Elaboração própria.

Supõe-se a seguinte função de utilidade do consumidor:

$$U(x_1, x_2) = x_1 \cdot x_2, \text{ sujeito à restrição orçamentária: } p_1 x_1 + p_2 x_2 = M$$

Vale notar que a função anterior pressupõe bens substitutos entre si.

$x_1 = M/2p_1 \rightarrow$  curva de demanda bem 1       $x_2 = M/2p_2 \rightarrow$  curva de demanda bem 2

Supõe-se curva de oferta pelo bem 1 dada por:

Oferta =  $b$ , a oferta é inelástica no curto prazo, pois a quantidade de alimentos é dada.

Condição de equilíbrio: oferta = demanda

$$M/2p_1 = b$$

$$p_1 = M/2b$$

$$x_1 = M/2p_1$$

Supõe-se a curva de oferta pelo bem 2 dada por:

$$\text{Oferta} = 2p_2 + 10$$

Parametrizando as funções anteriores, encontra-se o seguinte:

Quadro 3 | Parâmetros e soluções

Situação 1		Situação 2 (após o choque)	
$M$	600	$M$	600
$B$	1.000	$b'$	800
$p_1$	3/10	$p'_1$	3/8
$x_1$	1.000	$x'_1$	800
$p_2$	15		
$x_2$	20		

Fonte: Elaboração própria.

O excedente total do consumidor:  $ET = U(x) - p + p.x - c(x) = U(x) - C(x)$ . Com base nos valores anteriores, podem-se derivar o excedente do produtor e o excedente do consumidor nas duas situações.

Quadro 4 | Análise de bem-estar

Situação 1	
$EC$	19.700
$EP$	300
$ET$	20.000
Situação 2 (após o choque)	
$EC'$	15.700
$EP'$	300
$ET'$	16.000

Fonte: Elaboração própria.

Com base no resultado anterior, pode-se fazer inferência a respeito de alterações no bem-estar. Com maiores preços finais dos produtos agrícolas, que têm peso relevante na cesta dos consumidores, é reduzido o excedente do consumidor e, por sua vez, o seu nível de bem-estar. Com o maior preço dos alimentos, por outro lado, o excedente do produtor continua o mesmo. O efeito final é perda de bem-estar da sociedade, refletida na perda do excedente total.

### A análise econômica com a introdução das variáveis socioambientais

As principais falhas de mercado discutidas no presente trabalho, por sua estreita relação com as questões ambientais, referem-se à existência de economias externas e bens públicos.

- i) **Externalidades:** Ação de um agente econômico que resulta em efeitos que alteram o bem-estar de outro agente (utilidade de um consumidor ou a curva de possibilidades de produção de uma empresa).<sup>13</sup>

De acordo com Baumol e Oates (1993), duas condições são necessárias para que uma situação englobe externalidades:

- i) as relações de externalidades ou produção de um indivíduo incluem variáveis reais cujos valores são escolhidos por outro, sem particular atenção aos efeitos do bem-estar daqueles.
- ii) aqueles cuja atividade afetam a utilidade ou a produção de terceiros não recebem (ou pagam), em compensação por sua atividade, uma quantia igual em valor aos benefícios ou custos que resultaram.

O ponto importante a ser ressaltado é que uma empresa ou consumidor pode gerar efeitos negativos sobre outras partes, mas sem que os agentes causadores paguem ou tampouco que as vítimas recebam compensações [Sousa (2000)].

São exemplos de externalidades ambientais: a poluição do ar, o lançamento de efluentes em corpos d'águas, a emissão de metano pelo uso da

---

<sup>13</sup> De acordo com Viner (1931), existem externalidades diretas e indiretas ou pecuniárias.

vizinhança em plantações de cana-de-açúcar, assim como metano emitido por atividades pecuárias.

Outra falha de mercado, estreitamente relacionada às questões ambientais, é a existência de bens públicos. Citam-se como exemplos: a qualidade do ar, o regime de chuvas, a poluição sonora e outros “bens intangíveis” de natureza ambiental, ou seja, não produzidos pelo homem.

**ii) Bens públicos:** não rivalidade e não excludência [Mas-Colell; Whinston; Green (1995)].

Não rivalidade significa que o consumo de um bem não reduz sua disponibilidade para consumo por outros. Não excludência ocorre em situações em que é impossível evitar o acesso de indivíduos ao bem. A existência de bens públicos pode distorcer a oferta e o consumo de mercadorias, levando a situações subótimas. Nesses casos, a ação pública é necessária. De forma geral, os estados nacionais tomam para si a responsabilidade de prover esses bens.<sup>14</sup>

Nessas situações, a economia encontra-se em estado de equilíbrio conhecido como *second-best*. Nas palavras de Arrow (1951):

At a second level the analysis of externalities should lead to criteria for non-market allocation. We are tempted to set forth these criteria in terms analogous to the profit-and-loss statements of private business; in this form, we are led to benefit-cost analysis. There are, moreover, two possible aims for benefit-cost analysis; one, more ambitious but theoretically simpler, is specification of the non-market actions which will restore Pareto efficiency; the second involves the recognition that the instruments available to the Government or other non-market forces are scarce resources for one reason or another, so that all that can be achieved is a “second-best.”

Dessa forma, a análise econômica tradicional de questões ambientais apoia-se na existência de falhas de mercado e soluções do tipo *second-best*.

Para que se proceda à análise econômica com a introdução das variáveis ambientais, pode-se fazer uso do conceito de função de bem-estar social e curvas de indiferença social. Classicamente, a análise econômica se utiliza de tais curvas para introduzir o padrão de valoração da socie-

<sup>14</sup> Outras falhas de mercado ainda são discutidas em economia, mas não necessariamente aplicadas às questões ambientais, tais como rigidez de preço, informação assimétrica e incerteza nightiana.

dade com relação a certos aspectos. As primeiras funções de bem-estar surgiram em meio a discussões acerca de desigualdade e renda. De modo análogo, porém, é possível construir curvas teóricas de bem-estar que considerem o grau de aversão da sociedade a danos e desastres ambientais.

Em curvas de indiferença social, a sociedade ordena preferências com relação aos bens, serviços e outras variáveis que julga relevante. Apesar das dificuldades práticas e teóricas e considerando-se axiomas relacionados às preferências e tecnologias, encadeia-se debate sobre a forma funcional adequada, bem como sobre critérios específicos de melhoria de bem-estar social (justiça social) [Arrow (1951)].

Uma função bastante utilizada na literatura e passível de ser aplicada a situações de análise ambiental é a função de bem-estar de Atkinson (1969):

$$W = 1/(1 - e) \sum (U_i)^{1-e}$$

Onde  $e$  é o grau de aversão da sociedade às desigualdades sociais ou, alternativamente, a danos ambientais. Assim sendo, uma sociedade (como a alemã) tem maior grau de aversão a risco ambiental que a francesa, no que concerne à exposição a risco nuclear, por exemplo. Somente sabendo qual a preferência da sociedade, é possível afirmar se, em determinadas condições específicas, a implantação de um projeto levará à melhora ou à piora do bem-estar da sociedade.

Quadro 5 | Diferenças entre análise financeira e análise econômica de projetos

Características	Análise financeira	Análise econômica
Propósito	Indicar os incentivos a serem adotados	Determinar se um investimento se justifica em termos de eficiência econômica
<i>Accounting stance</i>	Desenvolvedor	Sociedade
Taxa de desconto	Custo marginal de tomar empréstimo	Taxa social de desconto
<i>Stance on transfer payments</i>	É relevante para análise	Irrelevante para análise
Preços	Preços de mercado	Preços-sombra
Custos	Preço dos insumos	Custos de oportunidade de todos os insumos
Benefícios	Receitas	Benefício real para a economia como um todo

Fonte: James (1994).



## Exemplos selecionados

Nesta seção, busca-se trazer exemplos em que as variáveis ambientais podem ser incorporadas por meio de variadas técnicas. A melhor técnica a ser escolhida dependerá do contexto e do setor sob análise. Os exemplos tratam de: (1) implantação de floresta comercial com espécie exótica; (2) unidade de produção de bovinos; (3) efluentes gerados por uma unidade fabril e os rebatimentos na pesca ribeirinha; e (4) estudo dos impactos de grandes deslocamentos populacionais, com base em modelo de equilíbrio geral.

### Exemplo 1: Implantação de floresta comercial com espécie exótica

Suponha-se um empreendimento florestal para plantio de 100 mil hectares de eucalipto em área de mata atlântica.<sup>15</sup> A produção de madeira com o plantio de floresta exótica pode gerar externalidades negativas (quando ocorre supressão de vegetação ou grande concentração fundiária) e positivas (oriundas do crescimento florestal).<sup>16</sup> A introdução de tais fenômenos na análise financeira pode ser realizada de forma estilizada da maneira seguinte:

Exemplo 1.1: Plantio com recuperação de área degradada e incorporação de receitas de créditos de carbono.

Exemplo 1.2: Plantio com supressão de vegetação nativa em área de mata atlântica.

A análise tradicional de uma floresta comercial leva em consideração as variáveis de custos e receitas mostradas na Tabela 1.

Para fins de avaliação financeira, assume-se para o preço da madeira  $PM = R\$ 90,00$  por metro cúbico de madeira e custo de oportunidade (taxa de capitalização) = Selic = 12% a.a. A produtividade esperada para florestas de alto rendimento é de cerca de 245 m<sup>3</sup> por hectare após sete anos de crescimento.

Como resultado, encontrou-se valor presente líquido de cerca de R\$ 4.000 por hectare.

<sup>15</sup> De acordo com o Código Florestal Brasileiro, o empresário deve manter 20% de reserva legal e áreas de preservação permanente (APP).

<sup>16</sup> O conceito de externalidade e suas implicações econômicas são discutidos na segunda seção.

**Tabela 1 | Componentes de custo e receitas produzidas por um projeto florestal\***

												Produtividade: 245 m <sup>3</sup> /ha no 7º ano	
Cultura: Eucalipto													
Espaçamento: 3,0 m x 3,0 m = 1.111 plantas/ha													
Sistema de produção: Áreas motomecanizáveis com alta tecnologia													
Itens de custo (R\$)	1º ano		2º ano		3º ano		4º ao 6º ano		7º ano		Total		
	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor	
1. Insumos		1.493,12		13,20		6,60		13,20		6,60		1.532,72	
Total insumos													
Itens de custo (R\$)	1º ano		2º ano		3º ano		4º ao 6º ano		7º ano		Total		
	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor	
2. Serviços		1.267,50		1.10,00		110,00		330,00		6.120,00		7.937,50	
Subtotal serviços													
<b>Total</b>		<b>2.760,62</b>		<b>123,20</b>		<b>116,60</b>		<b>3.43,20</b>		<b>6.126,60</b>		<b>9.470,22</b>	

Fonte: BNDES.

\* Baseado em um raio de 80 km entre o ponto de colheita e o local de entrega da madeira.

As variáveis socioambientais citadas no enunciado do Exemplo 1 são introduzidas e analisadas nos Exemplos 1.1 (Plantio com recuperação de área degradada e incorporação de receitas de créditos de carbono) e 1.2 (Plantio com supressão de vegetação nativa em área de mata atlântica).

*Exemplo 1.1: Plantio com recuperação de área degradada e incorporação de receitas de créditos de carbono*

A introdução de duas externalidades positivas (melhoria do solo em áreas degradadas e sequestro de carbono pelo crescimento da floresta), excluídas do cômputo convencional da análise financeira, será desenvolvida com base na metodologia própria explicitada a seguir.

**i) Introdução da externalidade positiva oriunda da melhoria das condições do solo**

A introdução da melhoria do solo em áreas degradadas por pastagens e posteriormente utilizadas para plantio de espécie exótica no cálculo financeiro do projeto é desenvolvida com base no balanço de nutrientes do solo. Uma vez que a floresta de eucalipto devolve para o solo cerca de 30% do nitrogênio, do potássio e do fósforo que utiliza, após sete anos o solo anteriormente degradado estará melhor do que antes do plantio [Lemos, Vital e Pinto (2010)]. Para fins de cálculo, somou-se aos benefícios do projeto, por conservadorismo, apenas 10% dos custos totais com fertilizantes. Como mostrado no Apêndice, os fertilizantes somam R\$ 824,00, o que representa, em valor presente, cerca de 10% do custo total de insumos no primeiro ano de crescimento da floresta. Ou seja, do ponto de vista da sociedade, deveriam ser somados aos benefícios do projeto R\$ 247,40 por hectare plantado, ao fim dos sete anos do ciclo da espécie. O fato de o eucalipto devolver os nutrientes que utiliza constitui economia externa positiva não incorporada à receita da empresa, a não ser, eventualmente, no momento de venda da terra. Após sete anos de plantio, a floresta de eucalipto, ao deixar o solo mais fértil (e areado), pode gerar externalidade positiva com impacto na produtividade futura de uma determinada área rural.

**ii) Introduzindo as receitas com créditos de carbono**

Conhecida a quantidade de carbono sequestrada pela floresta e estocada nos diferentes compartimentos das plantas (tronco, cascas, galhos,

folhas e, principalmente, raízes),<sup>17</sup> a primeira questão que emerge é: quanto vale, em termos monetários, o carbono sequestrado? O caso do carbono é mais fácil pela existência de direitos de propriedade e de mercado que transaciona títulos certificados de emissões de carbono. Assim sendo, o sequestro de carbono foi calculado multiplicando-se o fator de conversão de 105 toneladas equivalentes de carbono sequestrada por hectare de plantio após 10 anos de crescimento florestal, de acordo com Lemos, Vital e Pinto (2010), pelo preço do carbono cotado na Chicago Climate Exchange (CCX).<sup>18</sup> Assumiu-se entre US\$ 7 e US\$ 14 por tonelada de carbono equivalente sequestrada.

Juntos, a melhoria do solo (R\$ 247 por hectare) e o sequestro de carbono (R\$ 1.500 por hectare) somariam cerca de R\$ 1.747 por hectare após 10 anos, os quais, caso não precificados, distorceriam o valor da floresta de eucalipto.

*Exemplo 1.2: Plantio com supressão de vegetação nativa em área de mata atlântica*

No caso de supressão de vegetação, torna-se necessário saber quanto valeria cada hectare de floresta cuja vegetação foi suprimida. Existem diversos métodos para avaliar o preço de ativos ou de serviços ambientais. Para cálculo do custo da supressão de vegetação, foi utilizado o método do custo de reposição, com base em estudos de caso reais, calcados em programa federal de reflorestamento de mata atlântica.<sup>19</sup>

O custo médio estimado de reflorestamento de mata atlântica (plantio com 80 espécies distintas) situa-se ao redor de R\$ 10 mil/hectare (três vezes superior ao custo de plantio e manutenção do eucalipto, excluindo-se as atividades de corte, que representam 60% dos custos totais). Desse modo, caso haja massiva supressão de vegetação nativa e/ou necessidade de recomposição, o plantio de eucalipto torna-se economicamente inviável (ainda que financeiramente rentável).

<sup>17</sup> A quantidade estocada de carbono abaixo do solo, em raízes e outras formas de decomposição fossilizada, costuma ser equivalente à quantidade estocada na parte superior das árvores [Lemos *et al.* (2010)].

<sup>18</sup> Para fins de cálculo de precificação de biodiversidade, pode-se, de forma equivalente, observar as cotações apresentadas pela European Climate Exchange.

<sup>19</sup> Para mais informações, ver Iniciativa BNDES Mata Atlântica, disponível em: <<http://www.bndes.gov>>.

Vale notar que estimar o preço do hectare de mata atlântica apenas pelo custo de reposição certamente subestima o real preço (e valor) da floresta, dada a perda inevitável de biodiversidade (qualidade). Em particular, toda biodiversidade de fauna não está incluída nos atuais programas de reflorestamento. Em síntese, o custo de reconstituição de um bioma requer esforços (e recursos) bem superiores aos necessários para sua conservação.

### Exemplo 2: Unidade produtora de bovinos

Suponha-se empreendimento de engorda de bovinos que consista na aquisição de unidade de produção de 1.000 ha. Na atividade de engorda, o bezerro é adquirido com idade aproximada de 16 meses e permanece em fazenda para engorda por mais 20 meses. A taxa de lotação suposta é de três unidades animais por hectare. Esse exemplo foi baseado em Embrapa (2006) e tem os seguintes índices para a atividade de engorda:

Quadro 6 | Índices zootécnicos utilizados no exemplo

Mortalidade (%)	1 a 2
Desfrute (%)	33 a 49
Capacidade de suporte (UA/ha/ano)	1,0 a 4,0
Idade de abate (meses)	24 a 36
Peso de abate (kg)	480 a 600
Ganho por animal (kg/cab./ano)	160 a 240
Produção por área (kg/ha/ano)	2.540 a 720
Receita bruta por hectare (R\$/ha/ano)	288 a 1.152

Fonte: Embrapa (2006).

A análise tradicional leva em conta os seguintes números mostrados no Quadro 7:

Quadro 7 | Componentes de custo e receitas produzidas por um projeto pecuário\*

Item	Tempo (anos)	Valor (R\$)
Derruba e destoca	0	510,00
Aração e gradagem	0	292,50
Aplicação de corretivos e nutrientes	0	142,50
Plantio pastagem	0	112,50
Cerca elétrica	0	78,00
Saúde e nutrição do animal	1 a 4	94,80
Manutenção de pastagem	1 a 4	30,00
Mão de obra	1 a 4	1,44
Aquisição de animais	1 a 4	1.140,00
Aplicação de nutrientes	4	144,00

Fonte: Embrapa (2006).

\*Esses números foram baseados em exercício para 1 hectare. No exemplo deste artigo, deve-se multiplicá-los por 1.000.

Além disso, na Tabela 2 do Anexo, encontra-se o fluxo de caixa correspondente ao exercício. A relação B/C encontrada foi de 1,12 e a *TIR* foi 11,85%, ou seja, as receitas totais ultrapassaram os custos totais em 12% a.a.

A atividade de pecuária gera externalidades negativas ou positivas, dependendo do contexto em que é desenvolvida. Busca-se incorporar as seguintes externalidades positivas: (i) uso hipotético de área de preservação permanente (APP) ou de reserva legal (RL), utilizadas como parque ecológico; e (ii) redução da emissão de metano, por meio de dieta alimentar mais adequada ambientalmente, porém de maior custo para a empresa produtora.

*Exemplo 2.1: Utilização de RL e APP para criação de parque ecológico – o método do custo de viagem*

As áreas de floresta são ambientes naturais bastante ricos, que têm, principalmente no caso brasileiro, elevada diversidade de fauna e de flora. Tudo isso tem um elevado valor que não é diretamente apropriado pelo dono da propriedade em que se encontra. Uma forma de auferir benefícios diretos dessas florestas é com a criação de uma reserva privada de proteção natural (RPPN), buscando estimar o valor potencial que pode ser apropriado.

Em cenário de cumprimento do Código Florestal Brasileiro, determinada propriedade no norte do país encontra-se dedicada à pecuária extensiva e necessita manter certo percentual do território como reserva legal e área de proteção permanente.<sup>20</sup> Conforme mencionado, supõe-se nesse exemplo que se disponha de propriedade rural com 1.000 hectares. A área preservada é de cerca de 50% da propriedade. Parte-se da hipótese de que a área de reserva legal e/ou APP será convertida em RPPN. Supõe-se que unidades de conservação tenham valores econômicos que podem ser mensurados. Uma forma usual de medir o valor de parques é com o método do custo de viagem. Nesse caso, o parque valerá, no mínimo, o que as pessoas estejam sujeitas a pagar para chegar lá.

A seguir, têm-se exemplo de valoração de unidades de conservação, com base na literatura:

**i) O caso do Parque Nacional do Iguaçu** [exemplo extraído de May, Lustosa e Vinha (2003)] Localizado no Paraná, o Parque Nacional do Iguaçu é considerado uma unidade de conservação, administrada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). É um local de preservação da mata atlântica e abriga uma grande biodiversidade de fauna e flora. Esse parque tem uma área total de aproximadamente 185 mil hectares.

A valoração desse parque parte das seguintes premissas: (i) fluxo de visitantes em torno de 800 mil por ano; e (ii) parte das pessoas tem destinos múltiplos.<sup>21</sup>

Os valores da Tabela 2 referem-se ao valor de uso do parque. Dado que o parque tem área de cerca de 185 mil hectares, o valor por hectare corresponderá a R\$ 69,00.

<sup>20</sup> Na Região Norte, a área que deve ser mantida com floresta é elevada. O Novo Código Florestal, instituído em 1965, define os conceitos e tamanhos (MP 2.166-67/01) das áreas de preservação permanente (APPs) e das reservas legais (RLs). Segundo o código, o tamanho equivale a, no mínimo, 80% da propriedade rural situada em área de floresta localizada na Amazônia Legal.

<sup>21</sup> Nesse caso, a visita ao parque é apenas um dos objetivos da viagem. Segundo exemplo de May, Lustosa e Vinha (2003), identifica-se também a possibilidade de realização de compras em Ciudad del Este (Paraguai), de visita à usina hidrelétrica de Itaipu Binacional e de participação em outros eventos, tais como seminários, feiras e exposições.

Tabela 2 | Valor de uso recreativo anual do Parque Nacional do Iguaçu (em US\$)

Média anual visitantes <sup>1</sup>	Brasileiros e Mercosul		Estrangeiros não Mercosul		Total
	Excedente do consumidor	Valor de uso	Excedente do consumidor	Valor de uso	
	485.678		316.697		802.375
					-
Destino único sem substituto	13,40	6.508.085	19,50	6.175.591	12.683.676
Destino único com substitutos <sup>2</sup>	14,12	6.857.773	17,95	5.684.711	12.542.484
Destinos múltiplos <sup>3</sup>	39,24	19.058.004	30,68	9.716.263	28.774.267
Modelo básico <sup>4</sup>	42,70	20.738.450	44,31	14.032.844	34.771.294

Fonte: Ortiz (2003).

<sup>1</sup> Média anual de visitantes do PNI entre 1980 e 1998 (dados de bilheteria). Foram aplicados os percentuais de visitas observados na pesquisa de campo, por grupo de turistas.

<sup>2</sup> Considera turistas que visitaram apenas o PNI na viagem a Foz do Iguaçu.

<sup>3</sup> Trata o problema dos destinos múltiplos.

<sup>4</sup> Ignora o problema dos destinos múltiplos.

### *Exemplo 2.2: Contabilizando a emissão de metano e inovações que a reduzam*

A emissão de metano é uma das externalidades negativas geradas pela unidade produtiva. Essas emissões ocorrem pela fermentação entérica dos bovinos. Busca-se internalizar a externalidade negativa com a obrigatoriedade do uso de determinada tecnologia alimentar. No Exemplo 2.2, a tecnologia consiste na melhoria da dieta dos animais, como a inclusão de orégano na alimentação do gado.

A emissão de metano não contabilizada consiste em externalidade negativa e deveria, assim como nos exemplos anteriores, ser incorporada no cálculo financeiro do empreendimento. O presente exercício objetiva internalizar tal efeito.

Suponha-se agora que um suplemento seja adicionado na dieta dos animais, com o objetivo de reduzir a emissão de metano por meio de alterações na fermentação do rúmen.<sup>22</sup> A agropecuária, responsável por 71% das emissões, é a maior emissora de metano no Brasil. As emissões são provenientes principalmente da fermentação entérica do rebanho de ruminantes. Com a nova dieta, supõe-se redução de cerca de 50% nas

<sup>22</sup> Além disso, a melhoria na alimentação faz com que o animal chegue na idade de abate em período de tempo menor, reduzindo-se a quantidade de metano por quantidade de carne produzida.



emissões de metano. A introdução da nova dieta gera dois efeitos: em primeiro lugar, observa-se elevação do custo de produção da carne, e, em segundo lugar, a redução da emissão de metano acarreta benefício social. O resultado para o bem-estar social refletirá as escolhas da sociedade. O custo adicional da dieta é dado pela função de produção da fazenda.

Assume-se a seguinte função de produção para a fazenda de engorda, sendo a produção de carne (boi gordo) função do número adquirido de bois magros, da quantidade de capim e de ração (note-se que, para uma quantidade fixa de terra, o produto marginal dos outros fatores de produção – entre eles, boi magro, capim e ração – é positivo, mas decrescente, como a seguir.

**Situação 1: Externalidade ignorada: emissão de metano**

Essa é a situação que normalmente prevalece nesse setor. O consumidor de carne bovina paga apenas uma parte do custo gerado pela atividade, pois nessa situação o custo marginal privado é menor que o custo marginal social. Do ponto de vista analítico, pode-se expressar a função de produção da fazenda de engorda na forma simplificada a seguir:

$$Q_c(x_1, x_2) = 3/2x_1^{1/2} + 1/2 x_2^{1/2}$$

onde  $Q_c$  = quantidade de carne, em peso, vendida ao frigorífico

$x_1$  = boi magro

$x_2$  = capim consumido

A função custo é expressa conforme a seguir:

$$c(x_1, x_2) = p_1x_1 + p_2x_2$$

$$L(x_1, x_2) = p_cQ_c(x_1, x_2) - c(x_1, x_2)$$

Os parâmetros do modelo e as soluções podem ser vistos no Quadro 8.

Quadro 8 | Parâmetros e solução inicial

$p_1$	R\$ 380,00	Preço do boi magro
$p_2$	R\$ 30,00	Custo de manutenção do pasto
$p_c$	R\$ 1.632,00	Preço do boi gordo
$x_1$	10,38	Quantidade de bois magros na fazenda
$x_2$	184,96	Quantidade de capim consumido
$L(x_1, x_2)$	R\$ 9.486,96	

Fonte: Elaboração própria.

### Situação 2: Internalizando parte do custo de emissão de metano

Suponha-se que o governo determine a obrigatoriedade de adoção de tecnologia alimentar para redução de emissões de metano. Sendo assim, busca-se explicitar o efeito sobre o lucro pela incorporação de externalidade em preço.

$$Y = Q_c(x_1, x_2) = 3/2x_1^{1/2} + 1/2x_2^{1/2}$$

$$c(x_1, x_2) = p_1x_1 + (p_2 + p_3)x_2$$

$$L(x_1, x_2) = p_c(3/2x_1^{1/2} + 1/2x_2^{1/2}) - p_1x_1 - (p_2 + p_3)x_2$$

Quadro 9 | Nova situação de equilíbrio

$P_3^*$	95,00
$x_1$	10,38
$x_2$	10,65
$L(x_1, x_2, x_3)$	R\$ 5.267,07

Fonte: Elaboração própria.

\* Supõe-se que  $P_3$  seja o custo de melhorias na dieta. Supõe-se também que a quantidade desse alimento seja em proporções fixas e iguais à quantidade utilizada de  $x_2$ .

Em síntese, o lucro líquido obtido é inferior ao resultado do Exemplo 2 (unidade produtora de bovinos). Conforme esperado, o lucro da empresa diminui ao incorporar externalidade negativa na atividade produtiva.

Do ponto de vista do equilíbrio parcial, se a nova regra alimentar for obrigatória e incidir sobre toda a indústria, ao alterar o custo marginal de produção, ocorrerá também o deslocamento, para a esquerda, da curva de oferta. Na hipótese de curva de demanda negativamente inclinada, haverá, ainda, elevação de preço e perda de bem-estar dos consumidores de carne.

Principalmente para os que não consomem produtos desse setor, supõe-se, porém, que a redução da emissão de metano irá causar melhoria no nível geral de bem-estar. Genericamente, a função seria dada por:

$W = w(Y; m)$ ; onde  $Y$  = renda e  $M$  = emissão de metano, sendo  $W'_y > 0$  e  $W'_m < 0$ , ou seja, a função é crescente na renda e decrescente no nível de poluição. Com base na função de bem-estar de Atikson (1970),<sup>23</sup> pode-se

<sup>23</sup> Ver subseção “A análise microeconômica tradicional”.

definir grau de aversão da sociedade a danos ambientais ou a emissão de particular tipo de gás.

Quando um órgão ambiental impõe uma taxa sobre a geração de poluição, supõe-se que o ganho de bem-estar oriundo da redução dos níveis de metano compense a redução do excedente do consumidor e do produtor ocasionadas pela internalização de custos de dada externalidade.

### Exemplo 3: Efluentes gerados por uma unidade fabril e os rebatimentos na pesca ribeirinha

O objetivo do enfoque de perda de produtividade é mensurar mudanças nos sistemas ecológicos (biomas) ou antrópicos (indústria e comunidade) oriundas de deterioração de condições ambientais.<sup>24</sup> Sistemas de produção industrial podem ser afetados de muitas formas pela degradação ambiental, conforme o exemplo seguinte.

Suponha-se a indústria A localizada à beira de um rio a montante da atividade de pesca B (Figura 1). A indústria A gera efluentes líquidos em função da produção  $[e(Q_A)]$  que aumentam a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) do rio, reduzindo a disponibilidade para a sobrevivência da fauna a jusante. Por conseguinte, a queda na produtividade do rio, na oferta total de peixes, afeta a pesca na região B, sua renda e o nível de bem-estar. A solução indicada nesse caso é um imposto específico sobre  $Q_A$  quantidade gerada de poluição (na literatura denominado imposto de Pigou).

#### *Equilíbrio da indústria A*

A indústria A busca maximizar lucro produzindo-se  $Q_A$ , além de certa quantidade de poluição que gera a redução de  $e(Q_A)$  sobre a produtividade da oferta de peixes na região B. Suponha-se ainda que o rio tem capacidade de suporte de recebimento de efluentes situada em entre  $Q_A = 100$  e  $Q_A = 200$ .

Quando a produção da indústria excede a capacidade de suporte do rio, a produtividade do rio começa a diminuir até a capacidade máxima de suporte, em que  $Q_A = 200$ . Nessa situação, a reprodução já não permite a atividade de pesca.

<sup>24</sup> São exemplos: (1) redução da produtividade florestal (ao se desmatar, reduz-se o capital natural de cunho florestal, diminuindo as curvas de possibilidade de produção de toda a nação); (2) redução da fertilidade da terra (e, portanto, da produtividade na agrícola) pela desertificação; e (3) poluição (que aumenta problemas de saúde e reduz a produtividade da mão de obra).

### A economia da região B

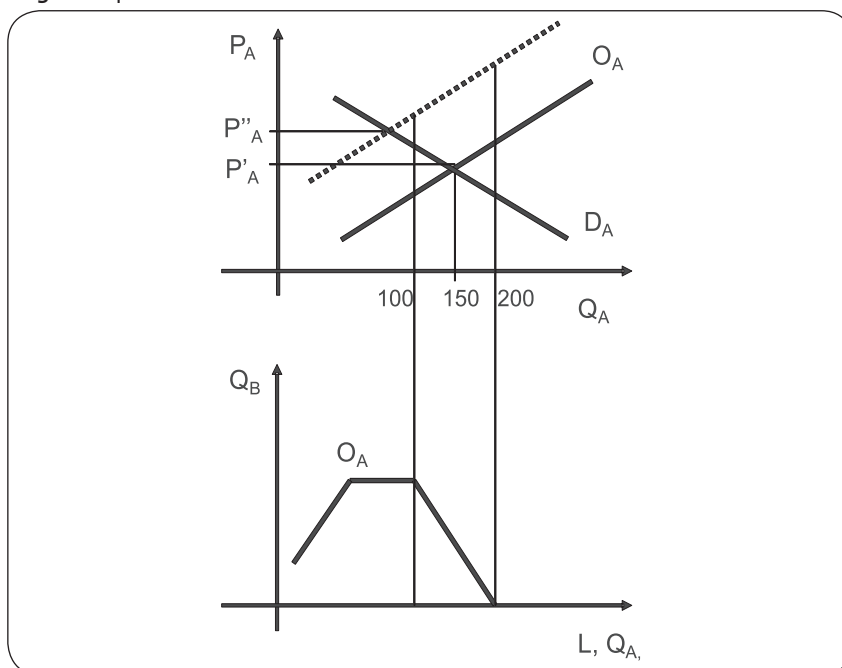
Suponha-se que a produtividade média por pescador é de 10 peixes por hora de trabalho. A comunidade tem dez pescadores e a curva de oferta de peixes é limitada pela produtividade natural máxima ou pela capacidade de suporte do rio (suposta em 1.000 peixes por dia). A jornada é suposta em oito horas diárias.

Como a receita da pesca é função do preço e do volume pescado, reduções na população de peixes geram reduções no volume de pesca, piorando-se o nível de renda da população da região a jusante afetada pela poluição.

### A solução de Pigou

A introdução de imposto sobre a quantidade gerada de efluentes levaria a indústria A a reduzir sua produção, até que a geração de efluentes dela não excedesse os limites de capacidade de suporte do rio (Figura 2 – linha pontilhada).

Figura 2 | Externalidade entre atividades com uso de recurso comum



Fonte: Elaboração própria.

#### Exemplo 4: Estudo dos impactos de grandes deslocamentos populacionais, com base em modelo de equilíbrio geral

Suponha-se uma usina hidrelétrica situada em localidade remota do país, que necessite de grande deslocamento de mão de obra. Pergunta-se:

##### 1) Como analisar os efeitos do movimento populacional sobre a distribuição de recursos na microrregião do projeto?

Suponha-se a existência de dois bens – alimentos (X) e serviços (Y) – e três grupos de indivíduos, com população e renda distintas. O primeiro grupo, mais pobre e populoso, tem função de utilidade do tipo  $xy$ , o segundo grupo tem função  $XY^2$  e o terceiro grupo tem função de utilidade  $XY^3$ .

Suponha-se ainda que a oferta dos dois seja fixa no curto prazo, sendo as dotações iniciais:  $x= 45.000$  e  $y= 150.000$ . Pergunta-se:

- a) Qual o equilíbrio distributivo inicial?
- b) O que ocorreria caso houvesse a chegada de muitas pessoas em relação à população inicial de indivíduos do grupo 1?

Quadro 10 | Parâmetros na situação-base

População	Renda
2.000	500
800	1.000
200	3.000
<b>3.000</b>	

Fonte: Elaboração própria.

A solução do exercício se dá a partir da maximização das funções de utilidade dos indivíduos de cada grupo, sujeitos às suas restrições orçamentárias, de onde se extraem as respectivas curvas de demanda agregada de cada grupo por cada bem.

$$\text{Max } U_i(x,y) \quad \text{S.T } P_x.X_i + P_y.Y_i = R_i$$

A somatória da demanda de cada tipo de bem por dado grupo é igualada à oferta de modo a se determinar os preços dos dois bens na situação inicial (sem deslocamento populacional). Dados os preços, renda e as curvas de demanda, determinam-se as quantidades demandadas de cada bem por cada grupo, de acordo com o Quadro 11.

Quadro 11 | Resultados na situação base

Oferta	45.000	150.000
Preços	27,41	4,44
	<b>Demandas</b>	
	<b>Bens de luxo</b>	<b>Alimentos</b>
Grupo 1	9,122	56,250
Grupo 2	24,324	75,000
Grupo 3	82,095	168,750
	<b>116</b>	<b>300</b>

Fonte: Elaboração própria.

O próximo passo é admitir que a população do grupo 1, mais pobre, é aumentada para o dobro em decorrência da chegada de mão de obra para a construção da usina hidrelétrica. Nessa situação, tem-se o resultado mostrado no Quadro 12.

Quadro 12 | Resultados na situação-base

Oferta	45.000	150.000
Preços	32,96	6,11
	<b>Demandas</b>	
	<b>Bens de luxo</b>	<b>Alimentos</b>
Grupo 1	7,584	40,909
Grupo 2	20,225	54,545
Grupo 3	68,258	122,727
	<b>96</b>	<b>218</b>

Fonte: Elaboração própria.

Conforme se pode observar, há aumento significativo de preços para ambos os bens, sendo mais que proporcional para os alimentos.

A discussão sobre o bem-estar depende das funções de utilidade. Não é possível afirmar quem perde mais sem conhecer formas funcionais específicas.

O exemplo mostra que é necessária a intervenção do Estado mediante planejamento da expansão da oferta de alimentos e serviços, entre outros.

## Conclusão

A questão ambiental insere-se na análise econômica tradicional no bojo do arcabouço da análise da “escola da escolha pública”. De modo

geral, a questão ambiental se transveste em um problema relacionado à existência de externalidades (positivas e negativas) e/ou bens públicos.

Conforme se pôde concluir, a não incorporação dos impactos ambientais no cálculo de rentabilidade econômico-financeira de projetos pode levar à subestimação ou à superestimação dos indicadores utilizados (VPL, fluxo de caixa etc). Para projetos com externalidade socioambiental significativa, a taxa interna de retorno privada tende, ainda, a diferir de modo relevante da taxa interna de retorno social. Nesses casos, se o financiador do empreendimento é o próprio governo, justifica-se o exercício de contraste entre taxas de retorno privadas (apresentadas pelas empresas) e taxas de retorno social (que devem ser calculadas e avaliadas pelo próprio analista de projeto).

Nas condições de existência de externalidade e bem público, mostrou-se que alguns bens tendem a ser subofertados (os que geram externalidades positivas, como o exemplo da mata atlântica), enquanto outros tendem a ser superofertados (como no exemplo do efluente). Nesses casos, discutiram-se diferentes formas de intervenção estatal para tentar elevar o patamar de bem-estar da sociedade, ressaltando-se os seguintes: imposto de Pigou, cotas, exigência de padrão tecnológico mínimo e subsídios governamentais.

O Exemplo 1 mostra a possibilidade concreta de inserir os impactos ambientais (internalização das externalidades) na fórmula tradicional de fluxo de caixa e taxa interna de retorno do projeto. O Exemplo 2 mostra como o método do custo de viagem e a análise de estática comparativa podem ser utilizados no caso concreto do estudo de um empreendimento pecuário. O Exemplo 3 indica o imposto de Pigou como solução para questões relacionadas a externalidades ambientais, enquanto o Exemplo 4 conclui que, em determinadas condições, grandes deslocamentos populacionais para uma microrregião podem afetar o preço relativo nos mercados locais e produzir impactos diferenciados, de acordo com cada extrato de renda. Mostrou-se, ainda, como mudanças climáticas podem afetar adversamente os mercados (em particular, o de alimentos) e, por conseguinte, o bem-estar dos consumidores em modelo de equilíbrio parcial.

Conclui-se, portanto, que as metodologias de análise de projeto devem acompanhar o desenvolvimento das ciências econômicas, a fim de incorporar, crescentemente, as variáveis ambientais de modo quantitativo,

fazendo com que os indicadores reflitam de modo mais preciso o valor de um dado projeto, não somente do ponto de vista da empresa que o desenvolverá, mas também da sociedade e da sustentabilidade dos ecossistemas (e, conseqüentemente, de seus próprios sistemas econômicos, no longo prazo).

### Referências

- ARROW K. J.; DEBREU, G. The Existence of an Equilibrium for a Competitive Economy. *Econometrica*, v. XXII, 265-90, 1954.
- ARROW, K. J. *Social Choice and individual values*. Nova York: Wiley, 1951.
- ATIKSON, A. *On the measurement of inequality*. Faculty of Economics and Politics, University of Cambridge, November 17, 1969.
- AZEVEDO, A. L. V.; CARVALHO, P. G. M. Meio ambiente: o que vira caso de polícia? *Anais do VII Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica*. Fortaleza, nov. 2007.
- BAUMOL, W. J.; OATES, W. E. *The Theory of Environmental Policies*. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.
- BOULDING, K. *The economics of the coming spaceship earth*, 1966. Disponível em: <<http://earthmind.net/earthmind/docs/boulding-1966.pdf>>. Acesso em: jun. 2011.
- BRASIL. *Lei de crimes ambientais*. Lei 9.605/98. Brasília, 1998.
- CASTRO, P. Ibama não recebe 99% das multas. *Gazeta do Povo*, 16 jul. 2010. Disponível em: <[www.gazetadopovo.com.br](http://www.gazetadopovo.com.br)>. Acesso em: jun. 2011.
- DALY, H. On economics as a life science. *Journal of Political Economy*, 76 (3) (May-Jun): 392-406, 1968.
- EMBRAPA. *Criação de bovinos de corte no estado do Pará*, 2006. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/BovinoCorte/BovinoCortePara/paginas/coeficientes.html>>. Acesso em: 2 jun. 2010.
- EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL. *Criação de bovinos de corte no estado do Pará*. *Sistemas de produção*, n. 3, dez. 2006.
- FAUSTMANN, M. The determination of the value which forest land and immature stands possess for forestry, 1849, reimpresso em Gane M. (ed.). *Oxford Institute Paper* 42, 1968.



- INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION. *Procedure for environmental, and social review of projects*, Nova York, dez. 1998.
- JAMES, D. *The application of economic techniques in environmental impact assessment*. Londres: Kluwer Academic Publishers, 1994.
- LEMONS, A. L.; VITAL, M. H.; PINTO, M. A. As florestas e o painel de mudanças climáticas da ONU. *BNDES Setorial* 32, set. 2010.
- MARSHALL, A. *Princípios de economia política*. São Paulo: Abril Cultural, 1982 (Coleção Os Economistas).
- MAS-COLELL, A.; Whinston, M. D.; Green, J.R. *Microeconomic theory*. New York: Oxford University Press, 1995.
- MAY, P.; LUSTOSA, M.; VINHA, V. *Economia do meio ambiente*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.
- MORENO, R. F. P. G. Balanço das decisões do STF sobre crimes ambientais. *Consultor Jurídico*, dez. 2009. Disponível em: <[www.conjur.com.br](http://www.conjur.com.br)>. Acesso em: jun. 2011.
- Motta, R.S. *Economia ambiental*. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2006.
- MUELLER, D. *Public choice III*. Nova York: Cambridge University Press, 2003.
- ODUM, H. T. *Environment, power and society*. New York: John Wiley & Sons, 1971.
- PARETO, V. *Manual de economia política*. São Paulo: Nova Cultural Ltda., 1909.
- PSACHAROPOULOS, G. *Economics of education: research and studies*. Washington D.C.: The World Bank, Pergamon Press (s.d.).
- RAWLS, J. *The theory of justice*. Cambridge: Harvard University Press, 1971.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. *The entropy law and the economic process*. Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1971.
- ROLSTON III, H. *The nature of value and the value of nature*. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. Disponível em: <<http://lamar.colostate.edu/~rolston/value-n.pdf>>.
- SIMONSEN, M. H. *Teoria microeconômica*. Volume 2. 1ª ed. Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas, 1969.

- SIMONSEN, M. H.; CYSNE, R.P. *Macroeconomia*. São Paulo: Atlas, 2009.
- SOBRINHO, J. D. *Matemática financeira*. São Paulo: Atlas, 1993.
- SOUSA, R. M. *Externalidades*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Economia e Gestão, 2000.
- VINER J. (1931): *Cost curves and Supply Curves: Zeitschrift fur Nationalokonomie*, 111, (1931-1), 23-46, In Baumol & Oates (1993).
- WALRAS, L. *Compêndio dos Elementos de Economia Política Pura*. São Paulo: Nova Cultural, 1988.

## Apêndice

Tabela 1 | Estrutura de custos de um plantio de eucalipto

		Produtividade: 245 m <sup>3</sup> /ha no 7º ano											
Cultura: Eucalipto		Variedade: <i>Urophylla grandis</i> e <i>Híbrido urugrandis</i>											
Espaçamento: 3,0 m x 3,0 m = 1.111 plantas/ha													
Sistema de produção: Áreas mecanizáveis com alta tecnologia													
Itens de custo	Unidade	Valor unitário	1º ano			2º ano			Período			Total	
			Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor	3º ano	4º ano ao 6º ano	7º ano	Quant.	Valor
<b>1. Insumos</b>													
Mudas (plantio e replantio)	Ud	0,34	1.280	435,20								1280	435,20
Calceário	T	83,00	1,17	97,11								1,17	97,11
Fertilizantes													
Nitrogênio – N	kg	2,75	60	165,00								60	165,00
Fósforo – P2O5	kg	2,37	60	142,20								60	142,20
Potássio – K2O	kg	3,00	60	180,00								60	180,00
Fosfato natural	kg	0,60	400	240,00								400	240,00
Formicida	kg	6,60	5	33,00	2	13,20	1	6,60	2	13,20	1	6,60	72,60
Cupinicida	kg	98,63	0,2	19,73								0,2	19,73
Herbicida	L	22,61	8	180,88								8	180,88
<b>Subtotal insumos</b>	<b>R\$</b>		<b>1.493,12</b>	<b>13,20</b>	<b>6,60</b>	<b>13,20</b>	<b>6,60</b>	<b>13,20</b>	<b>6,60</b>	<b>6,60</b>		<b>1.532,72</b>	

Continua

Continuação

Itens de custo	Unidade	Valor unitário	Período						Total			
			1º ano		2º ano		3º ano		4º ano ao 6º ano		7º ano	
			Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor
<b>2. Serviços</b>												
Limpeza da área	d/H	25,00	8	200,00							8	200,00
Marcação de linhas de plantio	d/H	25,00	1,5	37,50							1,5	37,50
Marcação de covas	d/H	25,00	1	25,00							1	25,00
Coveamento	d/H	25,00	9	225,00							9	225,00
Transporte interno de insumos	d/H	25,00	1,5	37,50							1,5	37,50
Calagem e adubação de cova	d/H	25,00	4	100,00							4	100,00
Aplicação de herbicida pré-plantio	d/H	35,00	1	35,00							1	35,00
Plantio e replantio	d/H	25,00	8	200,00							8	200,00
Aplicação de gel	d/H	25,00	1	25,00							1	25,00
Combate a formigas	d/H	35,00	2	70,00	1	35,00	1	35,00	1	35,00	8	280,00
Aplicação de herbicidas aos 90 dias	d/H	35,00	1,5	52,50							1,5	52,50
Aplicação de herbicidas aos 10 meses	d/H	35,00	1	35,00							1	35,00
Capina manual de coroamento ou na linha	d/H	25,00	4	100,00							4	100,00
Construção/manutenção de aceiros	d/H	25,00	5	125,00	3	75,00	3	75,00	9	225,00	20	500,00
Corte e toragem	d/H	25,00									18	450,00
Baldeio	d/H	25,00									23	575,00
Carregamento	d/H	25,00									26	650,00
Transporte da colheita até o depósito*	m³	18,00									245	4.410,00
<b>Subtotal serviços</b>	<b>R\$</b>		<b>1.267,50</b>	<b>110,00</b>	<b>110,00</b>	<b>110,00</b>	<b>110,00</b>	<b>330,00</b>	<b>330,00</b>	<b>6.120,00</b>	<b>7.937,50</b>	
<b>Total</b>	<b>R\$</b>		<b>2.760,62</b>	<b>123,20</b>	<b>116,60</b>	<b>343,20</b>	<b>6.126,60</b>	<b>9.470,22</b>				

Fonte: BNDES.

\* Baseado em um raio de 80 km entre o ponto de colheita e o local de entrega da madeira.

Tabela 2 | Fluxo de caixa de projeto pecuário

Período (anos)	Custo acumulado (R\$)	Receita acumulada (R\$)	Saldo acumulado (R\$)
0	113.550	-	(113.550)
0-6	240.174	0	(240.174)
6-12	240.174	0	(240.174)
12-18	252.798	0	(252.798)
18-24	366.798	238.680	(128.118)
24-30	379.422	238.680	(140.742)
30-36	379.422	238.680	(140.742)
36-42	506.046	477.360	(28.686)
42-48	506.046	477.360	(28.686)
48-54	533.070	477.360	(55.710)
54-60	647.070	716.040	68.970
60-66	659.694	716.040	56.346
66-72	659.694	716.040	56.346
72-78	786.318	954.720	168.402
78-84	786.318	954.720	168.402
84-90	798.942	954.720	155.778
90-96	912.942	1.193.400	280.458
96-102	939.966	1.193.400	253.434
102-108	939.966	1.193.400	253.434
108-114	1.066.590	1.432.080	365.490
114-120	1.066.590	1.432.080	365.490
120-126	1.079.214	1.432.080	352.866
126	-	1.670.760	591.546

Fonte: Embrapa (2006).