

A valoração das concessões nas florestas nacionais da Amazônia: uma abordagem com opções reais*

AJAX R. B. MOREIRA**
EUSTÁQUIO J. REIS**
KATIA ROCHA**
LEONARDO CARVALHO**

Como parte da estratégia de desenvolvimento sustentável da Amazônia, o governo brasileiro analisa, no momento, a implantação de uma política de concessões das áreas de florestas nacionais (Flonas) para a exploração comercial de madeiras. O valor da concessão depende de incertezas na estimação do volume de madeira comercial na área de concessão, bem como do preço futuro da tora, além de restrições legais impostas à exploração, como técnicas de manejo sustentado, limite mínimo preservado de estoque de madeira por hectare e taxa máxima de extração.

Este artigo propõe uma metodologia para valorar concessões florestais baseada na teoria das opções reais (TOR). Combinando hipóteses a respeito de incertezas relativas a volume e preço da madeira na concessão com um modelo de maximização estocástica intertemporal de receitas, a referida metodologia produz uma estimação mais realista para o valor de mercado da concessão do que a metodologia do valor presente líquido (VPL), que não considera essas incertezas.

Comparações entre os resultados obtidos pelo VPL e TOR mostram que os últimos são sistematicamente maiores. Para o caso-base, os resultados ultrapassaram 140%. Como concessões florestais são recursos públicos, diferenças dessa magnitude não podem ser negligenciadas.

Este artigo também propõe metodologia para a estimação da distribuição de probabilidade do volume de madeira nas áreas de concessão bem como do processo de evolução de preços da madeira. A distribuição do volume é especificada em um modelo espacial como função de características geográficas da área (solo, vegetação, clima, distância do mar, altitude etc.) e de sua respectiva vizinhança.

1 - Introdução

Como parte da estratégia de desenvolvimento sustentável da Amazônia, o governo brasileiro analisa, no momento, a implantação de uma política de concessões

* Os autores agradecem a Octávio Augusto Fontes Tourinho, do IPEA; Luiz Brandão, do DEI/PUC-Rio; Paulo Barreto e Adalberto Veríssimo, do Imazon; Claudio B. A. Bohrer, do Departamento de Geografia da UFF; Ronaldo Seroa da Motta e Claudio Ferraz, do IPEA, pelas relevantes sugestões e esclarecimentos; e também a Marcia Pimentel, Carmem Falcão, Ingrid Valda e Joana Pires Costa, todas do IPEA, pela assistência.

** Da Diretoria de Estudos Macroeconômicos do IPEA.

para a exploração comercial de madeiras nas florestas nacionais (Flonas), localizadas principalmente na Amazônia Legal. Uma questão importante para essa política é a determinação do valor dessas concessões, pois é imperioso que a outorga (por leilão ou outro mecanismo qualquer) do direito de uso das florestas seja avaliada de forma criteriosa e realista para evitar transferências indevidas de recursos públicos para grupos privados, desincentivando assim o desperdício de recursos ambientais escassos.

A concessão florestal é uma oportunidade de investimento de capital de longo prazo (usualmente 30 anos), com altas incertezas relativas a preço e volume de madeira comercializável na área de concessão. O concessionário tem o direito mas não a obrigação de proceder à exploração, obtendo dessa forma o valor de mercado da madeira cortada. A partir dessa definição parece claro a necessidade de utilizar a teoria das opções para valorar a concessão.

A maioria dos trabalhos que quantificam valor da concessão ou precificam ativos para propósito de privatização no Brasil utiliza a metodologia do valor presente líquido (VPL), que recai basicamente no desconto dos fluxos futuros de receita líquida durante a vida útil da concessão ou ativo. Essa metodologia não considera, portanto, os ganhos decorrentes do gerenciamento eficiente perante as diversas incertezas (evolução dos preços e do volume de madeiras) e mudanças de política regulatória (estoque mínimo preservado, taxa de corte máximo, obrigatoriedade do uso de técnicas de manejo). Particularmente nas concessões de Flonas, o gerenciamento envolve o número de árvores derrubadas em cada período. Por exemplo, o concessionário pode a qualquer momento suspender a produção caso os preços das toras caiam, ou elevar sua taxa de corte caso um volume de madeiras inesperado seja encontrado na concessão. Essa flexibilidade é tratada explicitamente pela teoria das opções reais (TOR) que, por isso, produz um valor para a concessão maior do que o VPL.¹

A TOR calcula o valor das concessões supondo que as decisões do concessionário sobre sua variável de controle — ou seja, a extração e a comercialização de madeira — sejam ótimas no sentido de maximizar o valor esperado do seu fluxo descontado de renda líquida futura, dadas suas expectativas sobre a trajetória dos preços da madeira e sobre o volume de madeira comercializável da concessão, e dadas as restrições de manejo florestal impostas no contrato de concessão.

Na literatura econômica de valoração de recursos naturais, artigos que utilizam a TOR estão cada vez mais populares. Tourinho (1979) emprega a TOR e mostra que reservas de recursos naturais podem ser vistas como opções sobre a produção daquele recurso e precificadas de acordo. Pindyck (1984) introduz o uso da TOR para precificar um recurso renovável com direito de propriedade. Brennan e Schwartz (1985) utilizam a TOR para precificar um recurso natural não-renovável em que incertezas sobre as receitas futuras de um projeto são cruciais

1 Para uma análise crítica ao método do VPL, ver Dixit e Pindyck (1994).

e políticas ótimas de decisões quanto ao desenvolvimento, operação e abandono são necessárias. Morck, Schwartz e Stangeland (1989) empregam a TOR para valorar uma concessão hipotética de pinheiros em Alberta, Canadá. Este artigo aplica a metodologia desenvolvida por Morck, Schwartz e Stangeland, denominada MSS (1989) daqui em diante, para calcular o valor da concessão de uma típica Flona na região da Amazônia Legal brasileira.

A principal característica deste estudo é considerar as incertezas sobre a evolução do preço futuro da madeira, sobre a evolução do volume de madeira e também sobre a quantidade inicial de madeira na área concedida. Levamos em conta o efeito de incertezas econômicas e restrições de política regulatória na exploração da concessão e investigamos como mudanças na política regulatória — volume (estoque) de madeira mínimo a ser preservado, taxa máxima de corte anual e uso das técnicas de manejo — afetam o valor da concessão.

Os resultados das simulações numéricas feitas para calcular o valor de concessões exemplificativas foram obtidos² utilizando parâmetros da literatura específica³ e de estimativas próprias com relação à densidade de biomassa e à evolução do preço futuro da madeira. O valor da concessão depende da densidade de biomassa⁴ existente na área de concessão, que não é conhecida ao certo. Procedimentos estatísticos foram propostos para estimar a quantidade de biomassa para todos os municípios da Amazônia Legal e assim viabilizar o cálculo de concessões para qualquer localização específica. Os dados para estimativa da densidade de biomassa vieram do projeto Radam/IBGE.

A utilização de conceitos puramente econômicos na valoração de recursos naturais é uma simplificação. Para uma avaliação mais ampla e rigorosa dos custos e benefícios sociais, a análise requer também que se valorem os benefícios ambientais das áreas de florestas que não se refletem nos preços de mercado das concessões (tais como o seqüestro de carbono e sua contribuição para a estabilidade climática global, regional e local, preservação da biodiversidade, manutenção do balanço hidrológico etc.), bem como as incertezas correlatas. Contudo, os aspectos ambientais não estão sendo considerados neste estudo, que está restrito à questão da determinação do valor econômico de mercado das concessões.⁵

2 O valor da concessão foi calculado pelas metodologias de TOR e VPL, e os dois resultados comparados.

3 Ver Subseção 3.3 e também bibliografia.

4 Para uma dada qualidade de solo, clima e outras características não-observadas mas espacialmente relacionadas a uma área específica, a quantidade de biomassa determina quantas árvores com diâmetro mínimo podem ser derrubadas.

5 Ver Young e Fausto (1997). A valoração pelo aspecto econômico tem, contudo, como vantagens: *a*) compreensão mais fácil e menos propensa a controvérsias; *b*) fornecer estimativa do valor mínimo para o recurso natural; e *c*) permitir resultados próximo daqueles obtidos por um planejador central, punindo eventuais efeitos nocivos não considerados através de taxas, impostos ou *royalties* destinados a financiar a regeneração e a sustentabilidade dos próprios recursos naturais. Para aplicação da TOR, considerando conceitos não-econômicos, ver Conrad (1997).

Este trabalho está organizado em seis seções, incluindo esta introdução. A Seção 2 descreve a política de concessão de Flonas no Brasil. A Seção 3 apresenta o modelo TOR adotado para a valoração da concessão, bem como as hipóteses feitas na sua parametrização. A Seção 4 especifica e estima os modelos espaciais de determinação da densidade de biomassa. A Seção 5 apresenta os resultados do valor da concessão para diferentes cenários e compara as metodologias da TOR e do VPL. A Seção 6 apresenta as conclusões.

2 - Concessões florestais na Amazônia Legal

Abrigando 1/3 das florestas tropicais do mundo, a Amazônia brasileira possui um volume de madeira estimado em 60 bilhões de metros cúbicos [ver Veríssimo e Barros (1996, introdução)]. De acordo com Veríssimo e Júnior (1997), a região produziu 25 milhões de metros cúbicos de madeiras, respondendo por 80% do total produzido no país, em 1997.

No mercado internacional de madeiras tropicais, o Brasil figura ainda como exportador marginal, respondendo por apenas 4% das exportações mundiais. Contudo, projeta-se expansão significativa dessa participação na próxima década, devido à exaustão gradativa dos recursos florestais asiáticos.

O principal instrumento da política florestal brasileira é o programa Flonas, criado em 1998, permitindo a concessão de áreas de florestas nacionais para exploração comercial. Segundo o Código Florestal (Lei 4.771, de 15 de setembro de 1965, Art. 5º), as Flonas são áreas de domínio público, providas de cobertura vegetal nativa ou plantada, estabelecidas com objetivos de promover o manejo dos recursos naturais, com ênfase na produção de madeira e outros produtos vegetais, garantir a proteção dos recursos hídricos, das belezas cênicas e dos sítios históricos e arqueológicos, assim como fomentar o desenvolvimento da pesquisa científica básica e aplicada, da educação ambiental e das atividades de recreação, lazer e turismo.

Segundo Barreto e Veríssimo (1999), hoje estão legalmente delimitadas 46 Flonas, totalizando cerca de 152 mil km², sendo 99,5% dessas áreas situadas na Amazônia.⁶ Até o momento, nenhuma das Flonas foi usada para produção de madeira. Ainda segundo os autores, a área delimitada para concessão corresponde a 3% da área total da Amazônia Legal, existindo perspectivas de aumento dessa percentagem para 12%. Devido ao precário sistema de monitoramento e fiscalização e também à grande oferta de madeira oriunda da expansão das ativi-

6 Maiores informações sobre as Flonas existentes, legislação em vigor e ordenamento e manejo do recurso florestal brasileiro podem ser encontradas no *site* do Ibama.

dades agropecuárias, a atual legislação não tem sido eficaz no controle do desflorestamento e do manejo florestal.⁷

Diante desse quadro e da escassez de recursos do setor público, a implantação de uma política de concessões públicas de áreas para a exploração de madeiras comerciais emerge naturalmente como solução institucional para os problemas de manejo e monitoramento das Flonas. Sua vantagem é privatizar parte das funções e responsabilidades públicas para conseguir, a um só tempo, o manejo sustentável das Flonas e a redução dos custos governamentais de administração, monitoramento e fiscalização dessas áreas. Permite, nesse sentido, conciliar a sustentabilidade ecológica com a viabilidade financeira das Flonas.

A delegação de funções e responsabilidades públicas ao setor privado, bem como os direitos e obrigações no que se refere à exploração comercial de madeira e outros recursos florestais seriam estabelecidos por meio de contratos de concessão de longo prazo para grandes áreas das Flonas. O não-cumprimento das práticas de manejo e de exploração sustentável definidas nas licenças de concessão estaria sujeito a multas e punições e até mesmo ao cancelamento do contrato [ver Ferraz e Seroa da Motta (1998)]. A outorga dos contratos seria feita por intermédio de leilões ou outros mecanismos concorrenciais entre empresas privadas nacionais e estrangeiras.

3 - O valor da concessão segundo a TOR

Para determinar a equação diferencial que governa o valor da concessão, seguimos a mesma metodologia de MSS (1989), com algumas extensões. O procedimento é descrito a seguir.

3.1 - O modelo de opções

Seja P , o preço das toras em $\$/m^3$, dado pela seguinte equação diferencial estocástica, onde dz é o incremento de Wiener:

$$\frac{dP}{P} = \mu_P dt + \sigma_P dz \quad dz = \varepsilon \sqrt{dt} \quad \varepsilon \sim N(0,1) \quad (1)$$

⁷ Um dos obstáculos à disseminação dos planos de manejo florestal são os baixos níveis de preços de mercado para a madeira em pé, incentivando, por conseguinte, a exploração predatória. Para que o manejo seja lucrativo, os custos da madeira manejada não devem superar aqueles da madeira de áreas não-manejadas. Para isso, pode-se aplicar taxas, impostos ou *royalties* de forma a equilibrar, ou até mesmo desfavorecer, a exploração predatória. Várias questões estão pendentes de definição, como o direito de uso e posse do recurso, o tempo e tamanho da concessão, os incentivos ao manejo da concessão, bem como o processo de alocação das concessões.

A equação (1) supõe que a taxa de retorno dos preços das toras pode ser representada por uma normal com média ($\mu_P dt$) e desvio-padrão ($\sigma_P dt$), sendo um processo estocástico não-estacionário. Admitindo que existe um mercado futuro de toras que elimine o risco associado ao preço das toras, isto é, que se pode fazer um *hedge* das variações dos preços das toras, utiliza-se a teoria da arbitragem e reescreve-se a equação (1) como equação (2),⁸ onde (r) é a taxa livre de risco e (k) é o custo de estocagem (*convenience yield*) representado como percentagem do nível de preços.⁹

$$\frac{dP}{P} = (r - k) dt + \sigma_P dz \quad (2)$$

Supõe-se também que o estoque de madeiras na região (biomassa em m³/ha) seja representado por I e governado pela seguinte equação diferencial estocástica — padrão na literatura de meio ambiente —, onde dw é o incremento de Wiener e dw e dz não são correlacionados.¹⁰

$$dI = [\mu \cdot I - q(P, I, t)] dt + \sigma_I \cdot I dw \quad (3)$$

Admitimos que o prêmio de risco de mercado associado a variações do estoque de madeira é zero, pois é um risco específico e não-sistemático, isto é, não-correlacionado com o mercado.¹¹

Na equação (3), a taxa de crescimento do estoque de madeiras apresenta uma tendência $\mu \cdot I - q(P, I, t)$, que pode vir a ser negativa.¹² O parâmetro μ corresponde à taxa de crescimento do estoque expressa como percentagem do estoque residual, $q(P, I, t)$ é a variável de controle que representa a política de corte ótima, ou seja, o volume de madeira cortada em um período dt , e o desvio-padrão σ_I corresponde à incerteza sobre a evolução da taxa de crescimento do estoque (possíveis queimadas, descoberta de maior densidade de madeira de qualidade, perda de fatias de mercado).

8 Seja ϕ_P o prêmio de risco de mercado associado com o preço da tora. Brennan e Schwartz (1985) mostram que a taxa de desconto associado ao risco ($\mu_P - \phi_P$) é igual a $(r - k)$. Ver também Dixit e Pindyck (1994), para uma discussão sobre mercados completos e incompletos, abordagem dos ativos contingenciáveis e como aplicar teoria da arbitragem em projetos reais.

9 O custo de estocagem (k) pode ser inferido do mercado futuro de toras. Devido ao fato de não existir até o momento mercado futuro associado a toras no Brasil, utilizamos as estimações realizadas em MSS (1989) baseadas em madeira branca como uma aproximação.

10 Supomos que a madeireira é uma firma pequena na indústria madeireira e no mercado internacional e que seu nível de estoque agregado não tem efeito no nível de preços de mercado das toras.

11 Para uma discussão e aplicação de risco não-sistemático na TOR, ver Merton (1976).

12 Evidentemente, o estoque de madeiras decai à medida que a taxa de corte aumenta, resultando em uma taxa de crescimento negativa.

A função de custos da madeireira, $A(q)$, na falta de informação mais precisa, foi considerada como sendo linear.¹³

$$A(q) = a_1 q(P, I, t) + a_0$$

Admitimos ainda que a produção pode ser suspensa e reiniciada a qualquer momento sem incorrer em custos adicionais.¹⁴

Seja $F(P, I, t)$ o valor da concessão¹⁵ da Flona, dado o preço atual da tora P , o estoque inicial I e o tempo t até o término da concessão em $t = T$. Seja $\pi(q)$ o fluxo de caixa associado à exploração. O problema de otimização estocástica para a precificação da opção pode ser resumido pela equação (4), onde q_{\max} representa a taxa de corte máxima anual permitida pela política regulatória e as equações (2) e (3) definem os processos de evolução das variáveis de estado P e I , respectivamente.

$$F(P, I, t) \equiv \max_{q(P, I, t) \in [0, q_{\max}]} \left\{ E_t \int_0^T [\pi(q) \cdot e^{-r \cdot t}] dt, F(P, I, T) \right\} \quad (4)$$

$$\pi(q) = P \cdot q - A(q)$$

Utilizando o Lema de Itô e a abordagem de ativos contingenciáveis, MSS (1989) demonstra que o valor da concessão $F(P, I, t)$ segue a equação diferencial parcial (EDP) do tipo parabólica em duas dimensões, equação (5), sujeita às condições de contorno apropriadas, equações (6-11).¹⁶

$$0 = \max_{q(P, I, t) \in [0, q_{\max}]} \left\{ \frac{1}{2} \sigma_P^2 P^2 F_{PP} + (r - k) P F_P + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \sigma_I^2 I^2 F_{II} + [\mu \cdot I - q] F_I + F_t + Pq - A(q) \right\} \quad (5)$$

13 A função de custos linear produz soluções de canto relativas à taxa de corte q .

14 Brennan e Schwartz (1985) e Dixit e Pindyck (1994, Caps. 6 e 7) mostram como é possível relaxar essa suposição.

15 Não estamos considerando a incidência de impostos sobre a receita da venda de toras. Acrescentam-se essas alíquotas sem maiores complicações no modelo.

16 A equação (5) é uma equação parabólica em duas dimensões, portanto, cinco condições de contorno são requeridas para resolvê-la. Note-se que a equação (11) é uma restrição adicional ao problema, não sendo redundante. Ela meramente indica a região abaixo da qual o corte não é permitido.

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

$$F(0, I, t) = 0 \quad (7)$$

$$\lim_{P \rightarrow \infty} F_P = I \quad (8)$$

$$\frac{\partial F}{\partial I} \Big|_{I=I_{\max}} = 0 \quad (9)$$

$$F(P, 0, t) = 0 \quad (10)$$

$$q(P, I \leq I_{\min}, t) = 0 \quad (11)$$

As condições de contorno garantem que: (6) ao término do contrato de concessão $t = T$, seu valor é zero; (7) caso o preço da madeira negociada caia para zero, o processo (2) implica um valor da concessão zero; (8) caso o preço da madeira se torne excessivamente elevado, mudanças no valor da concessão decorrentes de mudanças no valor dos preços são proporcionais ao nível de estoque acumulado; (9) existe uma barreira refletora devido à densidade máxima de madeira (I_{\max}) a partir da qual o valor da concessão não aumenta. A condição (10) estipula que a concessão não terá valor caso o estoque atinja zero. Por último, a restrição (11) impõe um limite regulatório mínimo (I_{\min}) para o estoque, abaixo do qual não é permitida a extração.

A equação (5), bem como suas condições de contorno, foi resolvida numericamente utilizando o método das diferenças finitas (MDF) na forma explícita.¹⁷

Freqüentemente, não conhecemos o nível atual de estoque (I_0) de madeiras (volume de biomassa) na área concedida. No entanto, podemos estender o modelo MSS (1989) e considerar a incerteza sobre o volume inicial de biomassa na região. Isso é feito utilizando modelos espaciais econométricos que estimam a distribuição de probabilidade $p(I_0)$ para qualquer localidade. O valor da opção considerando essa incerteza $V(P, t)$ é obtido integrando-se o valor da opção $F(P, I, t)$ com relação à distribuição de probabilidade do estoque inicial I . A equação (12) mostra como essa integração é realizada no período corrente $t = 0$:

$$V(P_0, 0) = \int F(P_0, I_0, 0) \cdot p(I_0) dI_0 \quad (12)$$

¹⁷ Maiores detalhes do MDF podem ser encontrados em Ames (1977) e Smith (1971).

3.2 - O modelo do VPL

No cálculo do VPL utilizamos o saldo entre o fluxo de receita, descontado pela taxa livre de risco (r), e o respectivo custo de produção no decorrer da vida útil da concessão (entre $t = 0$ e $t = T$). Utilizamos a taxa de desconto livre de risco, uma vez que trabalhamos com o processo neutro ao risco para o preço da tora — equação (2). A equação (13) resume a fórmula tradicional da técnica do VPL.

$$VPL = \begin{cases} \int_0^T E[\pi(q_{\max})] e^{-rt} dt & \text{para } I(t) \geq I_{\min} \text{ e } E[\pi(q_{\max})] \geq 0 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (13)$$

onde:

$$E[\pi(q)] = E[\tilde{P}]q - c_0 - c_1 \cdot q \quad E[\tilde{P}] = P_0 \cdot e^{(r-k) \cdot \Delta t}$$

3.3 - Parâmetros do modelo

Os parâmetros utilizados neste estudo vieram de três fontes: artigos especializados sobre Flonas, estimações obtidas na Seção 4 e, finalmente, artigos relativos ao comércio internacional de madeiras brancas.¹⁸

Os seguintes parâmetros vieram da primeira fonte:¹⁹ *a*) tempo da concessão: 30 anos; *b*) área total de concessão: 120 x 10³ ha; *c*) taxa máxima anual de corte: 16 x 10³ m³ ou 0,133m³/(ha/ano); *d*) custo fixo: \$ 140 x 10³/ano; *e*) custo variável com (sem) manejo: \$ 8,45/m³ (\$ 3,55/m³); *f*) preço da madeira de médio valor econômico: \$ 30/m³; e *g*) estoque de madeira a ser preservado pela política regulatória: 50% do estoque total na concessão devem ser preservados.

Os parâmetros estimados na Seção 4 são: *a*) distribuição de probabilidade do estoque inicial de madeiras: lognormal de média 25m³/ha e desvio-padrão da normal associada de 0,40; e *b*) volatilidade anual da taxa de crescimento do preço da madeira em toras: 30%.

A terceira fonte de parâmetros inclui:²⁰ *a*) desvio-padrão anual da taxa de crescimento do estoque de madeiras: 8%; *b*) taxa anual livre de risco: 5%; *c*) taxa

18 Utilizamos dados de madeiras brancas como aproximações às madeiras de lei devido à falta de dados sobre as últimas.

19 Em particular, Barreto (1999), Veríssimo *et alii* (1992) e Stone (1998).

20 Em particular, Morck, Schwartz e Stangeland (1989).

anual do custo de estocagem: 4,6%; e *d*) taxa de crescimento anual do estoque de madeiras como percentagem do estoque acumulado: 1% (0%) com (sem) manejo.²¹

O nível atual do preço da tora para o caso-base foi estipulado em US\$ 30/m³. Como há uma ampla variedade de preços correspondentes às diversas espécies encontradas na Amazônia Legal, adotou-se uma cesta de madeiras. Análises com diversos níveis de preços foram implementadas para contemplar regiões mais ricas que outras.

Ressaltamos que o valor da concessão varia significativamente em resposta a mudanças nos parâmetros adotados. Não argumentamos que os parâmetros adotados neste estudo sejam os melhores, todavia os adotamos como razoáveis para aplicação da metodologia proposta.

4 - Estimacões

4.1 - Biomassa

Um dos determinantes do valor da concessão de uma Flona é a quantidade de biomassa existente na região. Ela depende basicamente da qualidade do solo, do tipo de clima e de outras características não diretamente observáveis, porém espacialmente relacionadas.

Uma das principais contribuições deste artigo é fazer uma extrapolação com metodologia de estatística espacial para identificar quais as áreas com maior potencial para a exploração comercial da madeira na Amazônia Legal.

A qualidade do dado utilizado e limitações metodológicas recomendam que os resultados devam ser vistos como uma primeira aproximação. Os dados sobre densidade de biomassa são do projeto Radam, que mediu em 1991 a densidade de madeira para cerca de 2.400 locais. O tempo decorrido desde aquela apuração e a dispersão espacial da amostra que foi coletada — inadequada para medida da biomassa — apontam para a fragilidade dos resultados. No aspecto metodológico, só foi possível construir estimativas municipais para a biomassa, o que é uma agregação excessiva na maioria dos casos.

As medidas obtidas pelo projeto Radam são pontuais e não cobrem a totalidade das áreas de concessão potencial, tornando necessário extrapolar ou prever essas medidas para a totalidade da área. A Tabela 1 mostra que 300 municípios não foram considerados, dos quais 31 tiveram menos de três medidas.

21 Admitiu-se que o emprego do manejo permite um aumento de 1% sobre a taxa de crescimento do estoque de madeira acumulado na concessão.

TABELA 1

Distribuição dos municípios segundo classe de número de amostra do projeto Radam

Classes	0	1-3	4-5	6-10	11-15	16-20	21-40	41-60	> 60	Total
Municípios	300	31	18	17	25	12	12	10	7	442

A previsão de volume de biomassa por município foi feita com um modelo que relaciona a densidade de biomassa (b) com a densidade de regiões vizinhas espacialmente, e com variáveis explicativas (x) que são medidas para a totalidade da área.

As variáveis explicativas consideradas são fatores geocológicos, como, por exemplo, tipo de solo, cobertura vegetal, altitude e distância do mar, e fatores climáticos, incluindo nessa categoria o volume de chuvas e a temperatura média por trimestre do ano. Além desses fatores relacionados às características mensuradas de cada região, foi considerada a influência exercida sobre uma determinada região pelas regiões vizinhas. Quer dizer, admite-se que a densidade de biomassa varie suavemente no espaço, o que implica que a densidade de biomassa de uma região seja um estimador da densidade de biomassa das regiões vizinhas.

A pesquisa (IBGE) identificou para a Amazônia Legal regiões homogêneas segundo o tipo de solo (S) e o tipo de cobertura vegetal (V), utilizando a mesma classificação adotada pelo Radam. Além dessas características, essa pesquisa também mediu a temperatura média (T) e a quantidade média de chuvas por trimestre para cada município. A altitude média do município e a sua distância do mar foram obtidas de outras fontes. Todas essas últimas variáveis serão denotadas por (C). As variáveis (S , V) são conhecidas para cada ponto da amostra do Radam, e também são conhecidas mensuradas como médias municipais. As variáveis (T , C) são conhecidas apenas como médias municipais.

A amostra do Radam refere-se a locais — identificados como pontos porque são áreas pequenas (1 ha) — e os resultados pretendidos referem-se a uma área. Para compatibilizar os dados com o nível de agregação dos resultados pretendidos existem três alternativas possíveis, a saber: “estimar/agregar”, “agregar/estimar” e “agregar num reticulado/estimar”. Na primeira alternativa o modelo é estimado com os dados da amostra Radam, e previsto em termos agregados. Na segunda alternativa os dados são agregados por município,²² e com esses dados é estimado o modelo que explica a densidade. Finalmente, na última alternativa propõe-se a definição de um reticulado sobre a Amazônia Legal suficientemente

²² Como os municípios se modificam ao longo do tempo, utilizou-se o conceito de área mínima de comparação construída para o ano de 1991.

pequeno para que a hipótese de homogeneidade de densidade de madeira seja aceitável e a estimação do modelo considerando a amostra agregada para esse reticulado. O modelo poderia prever a densidade para todos os reticulados e então obter a agregação para qualquer área, município ou regiões menores, como as áreas de concessão definidas. Consideramos essa última abordagem a mais adequada, pois prescinde da hipótese de homogeneidade dos municípios, mas não foi implementada porque requer um esforço preliminar de preparação dos dados que está fora do escopo deste artigo.

As duas primeiras abordagens obtêm as estimativas da densidade com limitações. A agregação da densidade de biomassa por município supõe a homogeneidade dessa variável no município e, portanto, admite que a média das densidades apuradas é representativa. Os resultados com dados agregados dependem do quanto é boa a hipótese de homogeneidade. Já a primeira alternativa depende de a capacidade dos regressores explicar adequadamente a distribuição da densidade.

Nas duas alternativas os modelos serão estimados em duas versões, uma incluindo o efeito da densidade das regiões vizinhas, e outra que não inclui esse efeito. Naturalmente, a primeira é uma forma irrestrita da segunda versão, e por isso os modelos serão apresentados na forma irrestrita.

Alternativa D

$$b_i = \rho W_i b + \sum a^j s_i^j + \sum c^j g_i^j + \sum d^j v_i^j + e_i \quad e_i \sim (0, \sigma^2) \quad (14)$$

onde:

b_i = densidade de biomassa no ponto $i \in R$;

$M(m)$ = conjunto de pontos que pertencem ao município m ;

W = matriz de vizinhança entre os pontos do Radam;

$s_i^j (g_i^j)$ = variável indicando o tipo de solo (cobertura vegetal) (j) no ponto i ;

v_i^j = logaritmo da variável (j)²³ no ponto (i), com $v_i^j = v_m^j \quad i \in M(m)$; e

ρ = coeficiente de correlação espacial.

Estimado o modelo, é necessário obter o resultado agregado por município, $E(\hat{b}_m) = \int_{x \in M(m)} b_x$. Para isso, é preciso integrar cada parcela da equação (14), onde $(p(x) = k)$ é a probabilidade do ponto (x). Excetuando-se a parcela do efeito dos vizinhos, as integrais são exatas:

²³ Temperatura média por trimestre, volume de chuvas por trimestre, altitude e distância do mar.

$$\int_{x \in M(m)} a^j s_x^j p(x) \partial x = a^j \int_{x \in M(m)} s_x^j p(x) \partial x = a^j x_m^j$$

$$\int_{x \in M(m)} c^j g_x^j p(x) \partial x = c^j \int_{x \in M(m)} g_x^j p(x) \partial x = c^j y_m^j$$

$$\int_{x \in M(m)} d^j v_x^j p(x) \partial x = d^j \int_{x \in M(m)} v_x^j p(x) \partial x = d^j v_m^j$$

onde:

x_m^j = proporção do município (m) que possui o tipo de solo (j); e

y_m^j = proporção do município (m) que possui o tipo de cobertura vegetal (j).

A componente do efeito dos vizinhos, quando presente, requer o conhecimento de (W_x), que é definida no conjunto de todos os pontos de (m) e não apenas nos pontos do Radam. A operação ($W_i b$) calcula a média local das densidades (b_i) — densidade média dos vizinhos. Como (W_x) não é conhecida, admitiu-se que a média da média dos vizinhos é representativa e, neste caso, o valor esperado da densidade no município m é dado por (15).

$$\int_{x \in M(m)} W_x b p(x) \partial x \cong \frac{1}{N_m} \sum_{i \in M(m)} W_i b = \frac{1}{N_m} \sum_{i \in M(m)} \tilde{b}_i$$

$$E(\hat{b}_m) = \rho \left\{ \frac{1}{N_m} \sum_{i \in M(m)} \tilde{b}_i \right\} + a^j x_m^j + a^j y_m^j + d^j v_m^j \quad (15)$$

Alternativa A

$$b_m = \rho W_m^* b + \sum A^j x_m^j + \sum C^j y_m^j + \sum D^j v_m^j + e_m \quad e_m \sim (0, \sigma^2) \quad (16)$$

onde:

$$b_m = (N_m)^{-1} \sum_{i \in I(m)} b_i;$$

$$N_m = \# I(m); \text{ e}$$

W^* = matriz de vizinhança entre os municípios.

O número de pontos (N_m) — a distribuição adequada desses pontos no município — e o grau de variabilidade dessa estimativa²⁴ determinam em que medida (b_m) representa a densidade de biomassa no município.

4.1.1 - Resultados empíricos

Os regressores do modelo foram agrupados nos vetores: (S) indicando o tipo de solo; (V) o tipo de vegetação; (T) a temperatura nos trimestres; (C) o volume de chuvas, altitude e distância do mar; e (W) o efeito dos vizinhos. Os modelos representados pelas equações (14) e (16) estão especificados de forma genérica, e cabe escolher a transformação mais adequada para b . Para manter os resultados interpretáveis vamos escolher apenas entre as transformações identidade que corresponde a ($e \sim N(0, \sigma^2)$) ou ($e \sim LN(0, \sigma^2)$). Estimamos o modelo com os dados desagregados e todos os regressores, considerando essas duas transformações. Então, foi escolhida a que maximiza a verossimilhança. Os resultados indicaram a transformação logarítmica, como mostra a Tabela 2.

No caso da alternativa D, o número total de regressores é 22, e a amostra tem 1.968 pontos. Apesar de o número de graus de liberdade ser mais do que suficiente, o objetivo de extrapolar os resultados para fora da amostra recomenda evitar variáveis redundantes, buscando se aproximar de um modelo “estrutural”. Para isso foram testadas diferentes seleções dentro do conjunto {S,V,C,T} e escolhida aquela que minimizou o critério de informação de Akaike (AIC) junto com o erro-padrão.²⁵

Os resultados na Tabela 3 mostram que: *a*) os regressores explicam em geral uma fração pequena da variação da densidade; *b*) a densidade dos pontos vizinhos aumenta substancialmente a capacidade explicativa do modelo;²⁶ e *c*) em ambos os casos — considerando ou não o efeito dos pontos vizinhos — o conjunto

TABELA 2

Logaritmo da verossimilhança (LVM) para cada transformação

Modelo	(nível)	(logaritmo)
LVM	-7.514,34	-7.140,36

²⁴ $\sigma_m = (1/N) \sum_{i \in M(m)} (b_i - b_m)^2$.

²⁵ O cálculo da verossimilhança desse modelo não pode ser feito, uma vez que depende da inversão da matriz $[I - W]$, cuja dimensão é o tamanho da amostra (1968). Como o elemento omitido é igual para todos os modelos que contêm (W), o critério de seleção não é afetado.

²⁶ O que implica que a hipótese de mudança suave da densidade não é rejeitada. Como o LVM está calculado com erro, não cabe a comparação dos modelos utilizando essa medida.

TABELA 3

Modelo com N pontos do Radam

Modelo	Desagregado ($N = 1968$)				Agregado ($N = 90$)			
	Erro-padrão	P^a	ρ	AIC ^b	Erro-padrão	p	ρ	AIC
C, T	0,4253	10	-	-1.700	0,2023	10	-	-2.974
S, V	0,4313	12	-	-1.670	0,1968	14	-	-2.940
S, C, T	0,4247	17	-	-1.695	0,1914	12	-	-3.040
V, C, T	0,4224	15	-	-1.708	0,2023	14	-	-2.885
S, V, C, T	0,4217	22	-	-1.705	0,1955	24	-	-2.731
C	0,4254	6	-	-1.703	0,2021	6	-	-3.065
C, V	0,4223	11	-	-1.713	-	-	-	-
C, T, W	0,4024	11	0,45	-1.809	-	-	-	-
S, V, W	0,4138	13	0,43	-1.752	-	-	-	-
S, C, W	-	-	-	-	0,1793	13	0,41	-3.149
S, V, C, T, W	0,4008	23	0,45	-1.805	0,1871	25	0,35	-2.797
C, W	0,4021	7	0,47	-1.815	0,1801	7	0,52	-3.273
C, V, W	0,4021	12	0,43	-1.810	0,1837	15	0,50	-3.056

^a O número de regressores não é o mesmo porque a amostra dos pontos do Radam não continha um dos tipos de solo e um dos tipos de vegetação.

^b $A = \text{Ln}(\sigma^2) + 2 \cdot p/N$.

(C, V) é o melhor modelo. Esse modelo (C, V), que não inclui o efeito dos vizinhos, apesar da baixa capacidade explicativa (<10%), não depende da hipótese da homogeneidade da densidade — adotada para estimar o efeito dos vizinhos — e permite a previsão para um maior número de municípios. Por isso, será um dos modelos selecionados. Os outros modelos selecionados são os subconjuntos (S, V, C, T) e (C, V, W). Esse último, embora seja o melhor, tem a desvantagem de depender da hipótese da homogeneidade e pode ser utilizado para previsão de um número menor de municípios, pois não dispomos de informação de vizinhança para muitos deles.

A segunda alternativa (A) depende da hipótese de homogeneidade da densidade, que não pode ser avaliada com as informações disponíveis. No entanto, o confronto dos resultados dos modelos estimados com dados agregados e desagregados pode indicar a coerência dos resultados. Para evitar dados com pouca informação foram descartados os municípios que tinham menos de três pontos do Radam.²⁷ Esse critério afeta principalmente as regressões em que a hipótese

²⁷ Esse critério não pode ser mais rigoroso para manter o número mínimo de graus de liberdade na estimação dos modelos agregados.

de homogeneidade é necessária. Nesse caso, o LVM é calculado de forma exata em todos os casos e a comparação entre os modelos utilizando essa medida é sempre adequada. Os resultados mostram que: *a*) a capacidade explicativa é substancialmente maior do que no caso anterior; *b*) o efeito dos vizinhos não pode ser rejeitado; e *c*) o melhor modelo é o (C), incluindo ou não o efeito dos vizinhos. Os modelos escolhidos foram (S, V, C, T), (C) e (C, W).

Nós calculamos então o $E(\hat{b}_m)$ para todos os modelos selecionados e, como teste final, calculamos o EPM (raiz quadrada do desvio médio quadrático), a correlação com a estimativa da densidade média do município (\hat{b}_m) e o número de municípios previsto em cada versão do modelo. De fato, não conhecemos a densidade de biomassa média, e, portanto, os “erros” devem ser considerados com cautela. Esses resultados, apresentados na Tabela 4, mostram que: *a*) os modelos que não contêm o efeito dos vizinhos acompanham menos a trajetória do dado “observado”; *b*) os resultados dos modelos agregados e desagregados são semelhantes entre si, o que sugere a hipótese de homogeneidade; e *c*) os resultados são de alguma forma coerentes.

Por causa da similaridade entre os resultados das duas metodologias implementadas, utilizamos o modelo desagregado (alternativa D) com o conjunto de regressores incluindo (CVW). Estimando esse modelo obtivemos uma distribuição lognormal para a biomassa com média de 100m³/ha e desvio-padrão de 0,40 da distribuição normal associada. Os cartogramas apresentados no Apêndice mostram a distribuição da biomassa estimada (m³/ha) para os municípios da Amazônia Legal. Na verdade, o montante efetivo de biomassa disponível para exploração é menor do que o nível corrente por duas razões, a saber: *a*) o procedimento de derrubada gera um desperdício; e *b*) apenas uma fração da biomassa possui valor econômico de mercado. Portanto, levando em conta esses fatos, e a

TABELA 4

Modelos selecionados para cada alternativa

Modelo	Alternativa	EPM	Correlação	Municípios
CV	D	25,1	0,44	338
CVW	D	16,1	0,43	113
SVCT	D	24,3	0,46	338
C	A	23,1	0,49	343
CW	A	20,8	0,63	137
SVCT	A	19,2	0,66	137

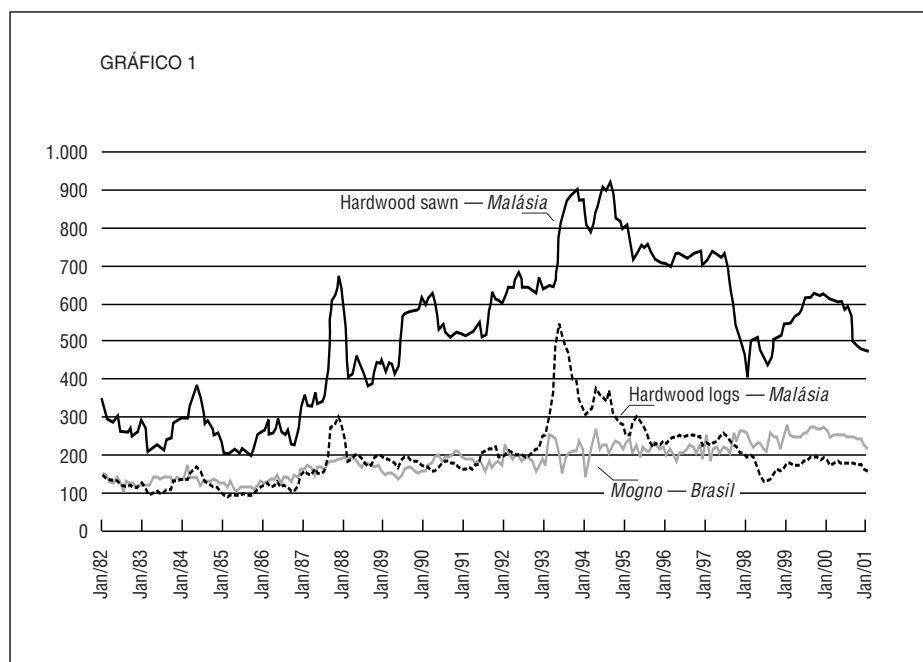
fim de obter uma estimativa consistente com a literatura [Barreto (1999)], dividimos a média da biomassa por quatro, chegando assim a um valor de 25m³/ha.

4.2 - Preço da madeira em toras

Com o registro, por produto, das exportações brasileiras mensais foi identificado o produto madeira em tora exportada por portos na região Norte. Dos diversos tipos de madeira encontrados apenas o mogno apresentou exportação para a maioria dos meses da amostra (1978/95). Com o valor e a quantidade exportada foi construído um dos índices de preços utilizados.²⁸

Para as estimações do preço das toras, utilizamos o mogno brasileiro para exportação e a madeira exportada pela Malásia (*hardwood logs e hardwood sawn*), as duas últimas retiradas do banco de dados do International Finance Statistics (IFS).

O Gráfico 1 apresenta os dados mensais das séries selecionadas²⁹ em US\$/m³ em preços reais de 1995.



28 Mesmo sendo proibida, a exportação de mogno ocorreu de forma sistemática nos últimos 20 anos até 1995. Apesar dessa inconsistência, o dado foi utilizado por ser o único disponível sobre exportação de madeira de qualidade pelo Brasil.

29 O mogno foi ajustado ao mesmo nível da madeira da Malásia para efeito de comparação.

Estimamos dois modelos de variância condicional — Garch(1,1) e Arch(1) — descritos a seguir. Os resultados estão na Tabela 5, que apresenta também os resultados para a variância não-condicional decorrente σ_P .

$$(dP/P)_t - a = e_t \quad e_t \sim N(0, h_t)$$

O modelo Garch estima a variância condicional, ou seja, a variância do período t dada a variância do período $t - 1$. De fato, estamos interessados na variância não-condicional, ou de longo prazo, da taxa de variação do preço da madeira.

$$E[h_t] = \alpha_0 + \alpha_1 E[e_{t-1}^2] + \alpha_2 E[h_{t-1}] = \alpha_0 + (\alpha_1 + \alpha_2) E[h_{t-1}]$$

Este processo converge quando $E[h_t] = E[h_{t-1}] = \sigma_P$; por conseqüência, $\sigma_P = \sqrt{\alpha_0 / (1 - \alpha_1 - \alpha_2)}$.

Em virtude da similaridade das volatilidades estimadas das séries, escolhemos a de 10,4% a.m., que equivale aproximadamente a uma volatilidade anual de 30%.

TABELA 5

Estimação da volatilidade do preço das toras

	Modelo	a	$T(a)$	α_0	$T(\alpha_0)$	α_1	$T(\alpha_1)$	α_2	$T(\alpha_2)$	σ_P /mês
Mogno	Garch	0,83	1,8	62,3	6,4	0,498	4,2	-0,075	1,0	0,104
Hardwood logs	Garch	-0,18	-0,4	38,5	8,4	0,369	5,1	0,057	0,4	0,082
Hardwood sawn	Garch	0,23	0,7	18,6	8,6	0,832	5,5	0,025	0,5	0,114
Mogno	Arch	-	-	55,6	8,4	0,490	4,3	-	-	0,104
Hardwood logs	Arch	-	-	20,2	13,7	0,793	5,4	-	-	0,099
Hardwood sawn	Arch	-	-	42,3	11,9	0,366	5,2	-	-	0,082

5 - Resultados

A Tabela 6 apresenta o conjunto de parâmetros adotados neste estudo.

O valor da concessão foi calculado utilizando a abordagem tradicional, VPL, e a TOR. Dividimos os resultados da TOR em dois casos. Primeiramente, admitimos que o estoque inicial de madeira na concessão é conhecido e calculamos o valor da opção condicionada a um estoque inicial $F(P_0, I_0, 0)$. No segundo caso,

TABELA 6

Parâmetros

Variável	Valores		Variável	Valores
Estoque inicial de madeira (m ³ /ha)	I_0	25	Custo variável com manejo (US\$/m ³)	a_1' 8,45
Desvio-padrão da distribuição do estoque inicial	S	0,40	Taxa anual de crescimento do estoque como % do estoque acumulado com/sem manejo	μ 0,01/0
Preço atual da tora (US\$/m ³)	P	30	Taxa anual de conveniência da tora	k 0,046
Volatilidade anual do preço das toras	σ_P	0,30	Taxa anual de juros sem risco	r 0,050
Volatilidade anual da taxa de crescimento do estoque	σ_I	0,08	Taxa máxima anual de corte (m ³ /ha/ano)	q_{\max} 0,133
Custos fixos anuais	a_0	140.000	Estoque mínimo imposto pela regulação (m ³ /ha)	I_{\min} 12,50
Custo variável sem manejo (US\$/m ³)	a_1	3,55	Tempo da concessão (anos)	T 30

relaxamos essa hipótese e consideramos a incerteza sobre o estoque inicial de madeira no cálculo do valor da opção $V(P_0, 0)$. Os resultados apresentados são condicionais ao emprego da técnica de manejo. O manejo é representado por custos de operação maiores, descritos na Tabela 8, e por uma tendência positiva de crescimento do estoque ($\mu = 1\%$ a.a.).

A Tabela 7 mostra o valor da concessão para as três abordagens [VPL, $F(P_0, I_0, 0)$ e $V(P_0, 0)$], considerando perturbações iniciais sobre o nível dos preços e dos estoques. A Tabela 8 apresenta a análise de sensibilidade relativa às incertezas de preços e estoques.

TABELA 7

Valor da concessão relativo às perturbações nos valores iniciais

Alternativas	(I_0, P_0)	Sem manejo			Com manejo		
		VPL	$F(P_0, I_0, 0)$	$V(P_0, 0)$	VPL	$F(P_0, I_0, 0)$	$V(P_0, 0)$
Caso-base	(25, 30)	39,6	68,2	59,7	29,4	74,2	64,8
(-10) Estoque	(15, 30)	29,5	31,8	29,0	21,7	37,7	34,1
(+10) Estoque	(35, 30)	39,6	100,2	95,0	29,4	113,2	105,9
(+30) Preço	(25, 60)	104,7	204,3	179,9	94,5	235,1	205,3
(-20) Preço	(25, 10)	0	8,8	7,6	0	8,8	7,7

TABELA 8

Análise de sensibilidade da concessão em relação à volatilidade dos parâmetros

Alternativas		Sem manejo		Com manejo	
		$F(P_0, I_0, 0)$	$V(P_0, 0)$	$F(P_0, I_0, 0)$	$V(P_0, 0)$
Caso-base	$\sigma_p = 0,3, \sigma_l = 0,08$	68,2	59,7	74,2	64,8
(-) Incerteza do preço	$\sigma_p = 0,20$	43,0	37,4	37,9	33,8
(+) Incerteza do preço	$\sigma_p = 0,40$	108,9	96,0	127,8	111,0
(-) Incerteza do estoque	$\sigma_l = 0,01$	70,4	64,8	78,6	72,7
(+) Incerteza do estoque	$\sigma_l = 0,15$	57,4	50,3	59,7	52,7

Os resultados mostram que:

- o valor da concessão obtido pela técnica de VPL é o menor;
- o valor da concessão não é proporcional aos preços e estoques correntes, como mostrado nos Gráficos 2 e 3;
- o valor da concessão é mais sensível à incerteza dos preços do que à dos estoques; portanto, a primeira deve ser medida com mais cuidado; e
- o valor da concessão decresce ao supor desconhecimento do nível inicial de estoque $V(P_0, 0) < F(P_0, I_0, 0)$. Portanto, quanto maior a incerteza em relação à quantidade inicial de madeira na região, menor o valor obtido para a concessão.

O Gráfico 2 mostra como o valor da concessão (US\$/ha) varia em relação à volatilidade do preço das toras. Quanto maior é essa incerteza, maior é o valor da concessão.

O Gráfico 3 mostra como o valor da concessão (US\$/ha) varia em relação à volatilidade da taxa de crescimento do estoque de madeira.

Note-se que para estoques abaixo do limite mínimo estipulado na regulação (12,5 m³/ha), o valor da concessão aumenta com σ_l . Mesmo que não haja receita (o corte não é permitido para esses níveis de estoque acumulado), a concessão ainda possui valor, contrariando a técnica do VPL, que fornece um valor nulo nesse caso.

GRÁFICO 2

O valor da concessão em relação à volatilidade do preço das toras

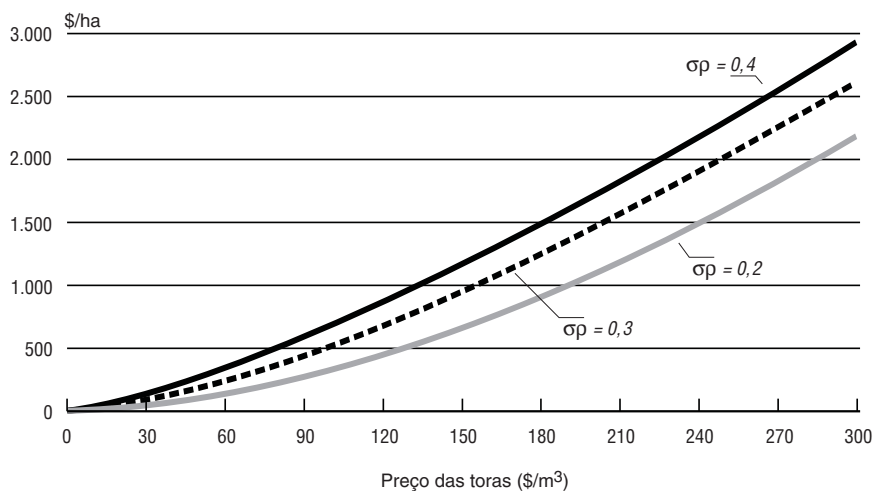
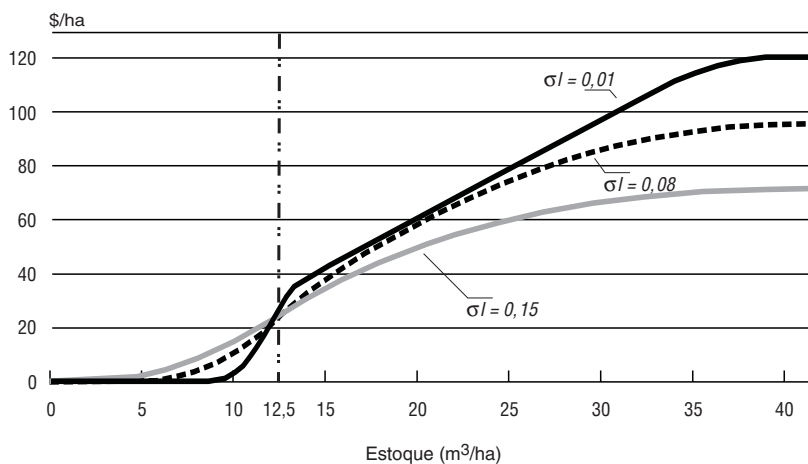


GRÁFICO 3

O valor da concessão em relação à volatilidade da taxa de crescimento do estoque de madeira



Para estoques superiores ao limite imposto pela regulação, σ_I reduz o valor da concessão. Podemos verificar esse fato ao inspecionarmos o sinal da segunda derivada F_{II} na equação (5). Esta possui valor positivo para estoques abaixo do limite mínimo (12,5 m³/ha), e valor negativo para estoques acima desse limite.

O Gráfico 4 compara o valor da concessão (US\$/ha) calculado pelo VPL e pela TOR. Note-se que o VPL leva a uma subavaliação do valor da concessão.

O Gráfico 5 mostra como o valor da concessão (US\$/ha) aumenta devido à redução de 50% no limite de estoque mínimo preservado o imposto pela regulação.

O Gráfico 6 avalia como a adoção de técnicas de manejo modifica o valor da concessão. O valor da concessão é maior ao empregar-se o manejo. A taxa de crescimento do estoque de madeira com manejo (1% em vez de 0%) mais que compensa o aumento dos custos necessários ao manejo.

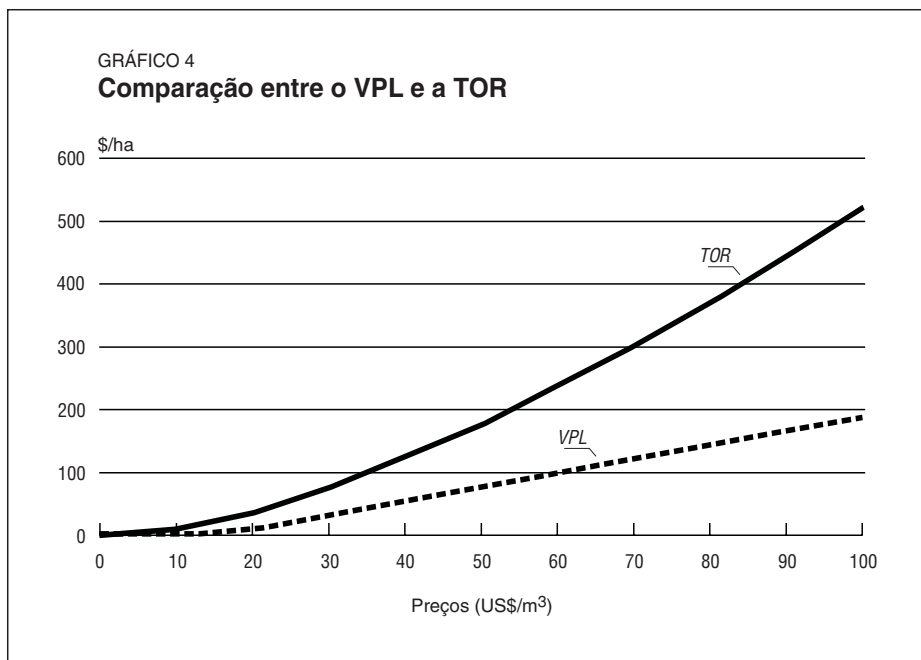


GRÁFICO 5
Efeito da política de regulação

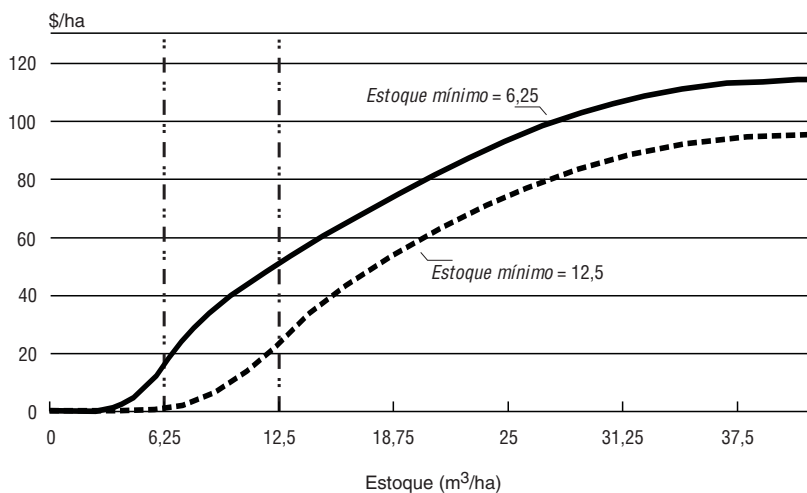
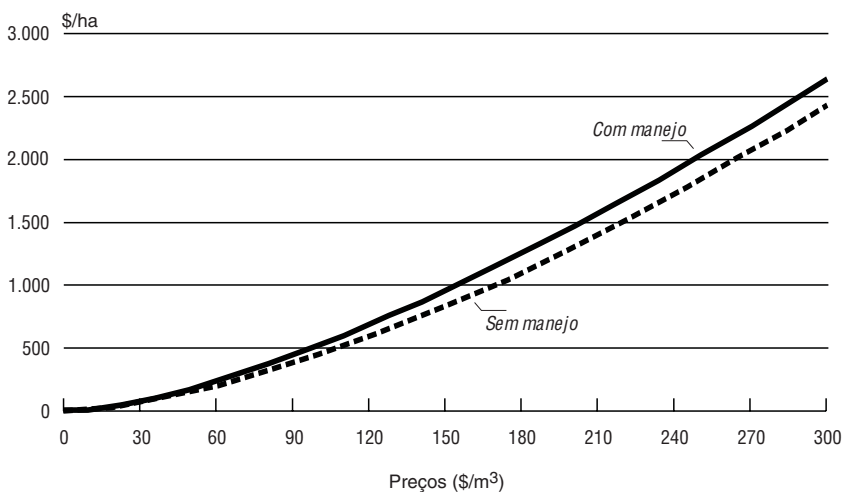


GRÁFICO 6
Efeito da adoção de técnicas de manejo



6 - Conclusões

Este estudo aplica a metodologia MSS (1989) e utiliza a TOR para estimar o valor da concessão de Flonas na Amazônia Legal brasileira para exploração de madeiras comerciais. O método proposto é superior à abordagem tradicional do VPL, que tende a subestimar o valor potencial da concessão. Isso porque a TOR permite avaliar os ganhos advindos da flexibilidade das decisões para cenários estocásticos.

No caso-base considerado, o valor da concessão obtido pela TOR é 140% superior ao calculado pelo VPL. O uso da TOR permite avaliar o efeito de políticas de regulamentação ao identificar que a diminuição do estoque mínimo em 50% aumenta o valor da concessão em 26%. A abordagem do VPL não tem como quantificar esse efeito.

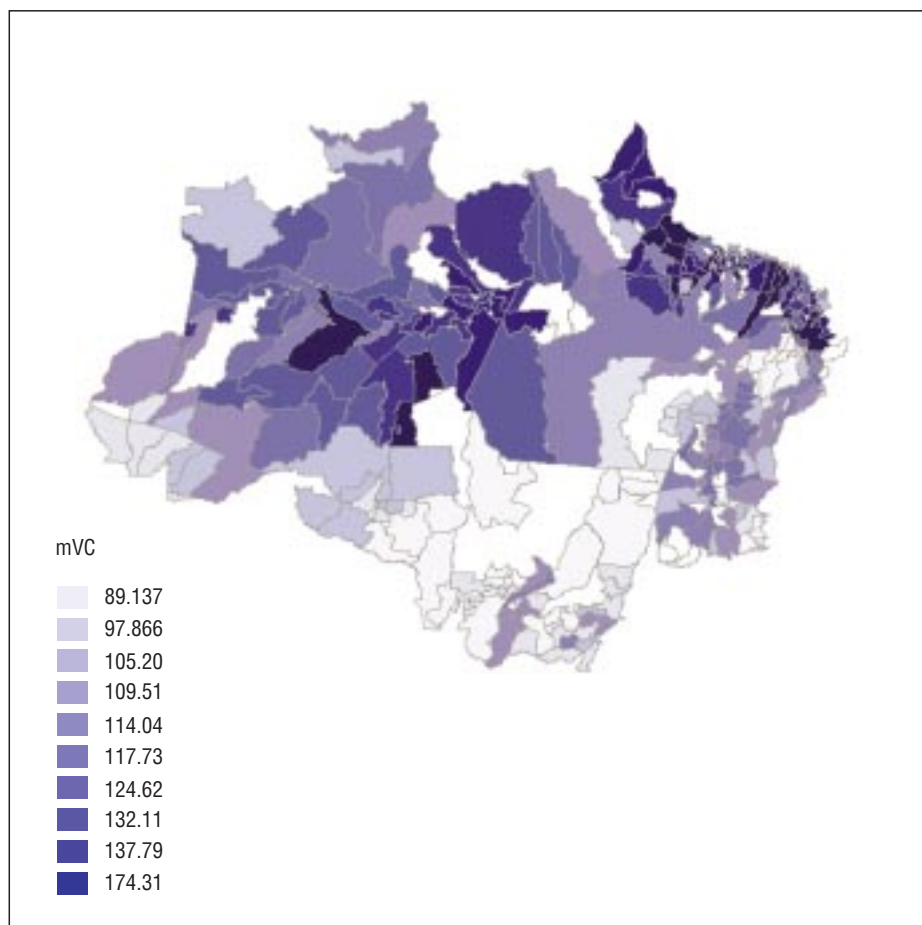
Outros resultados relevantes são a não-proporcionalidade entre o valor da concessão e os valores iniciais de preços e estoque de madeira na área concedida; a importância de medidas mais realistas sobre a distribuição do estoque inicial de madeira e sobre a volatilidade do preço da madeira em tora; e medidas mais precisas quanto ao custo de técnicas de manejo e suas repercussões sobre o crescimento do estoque.

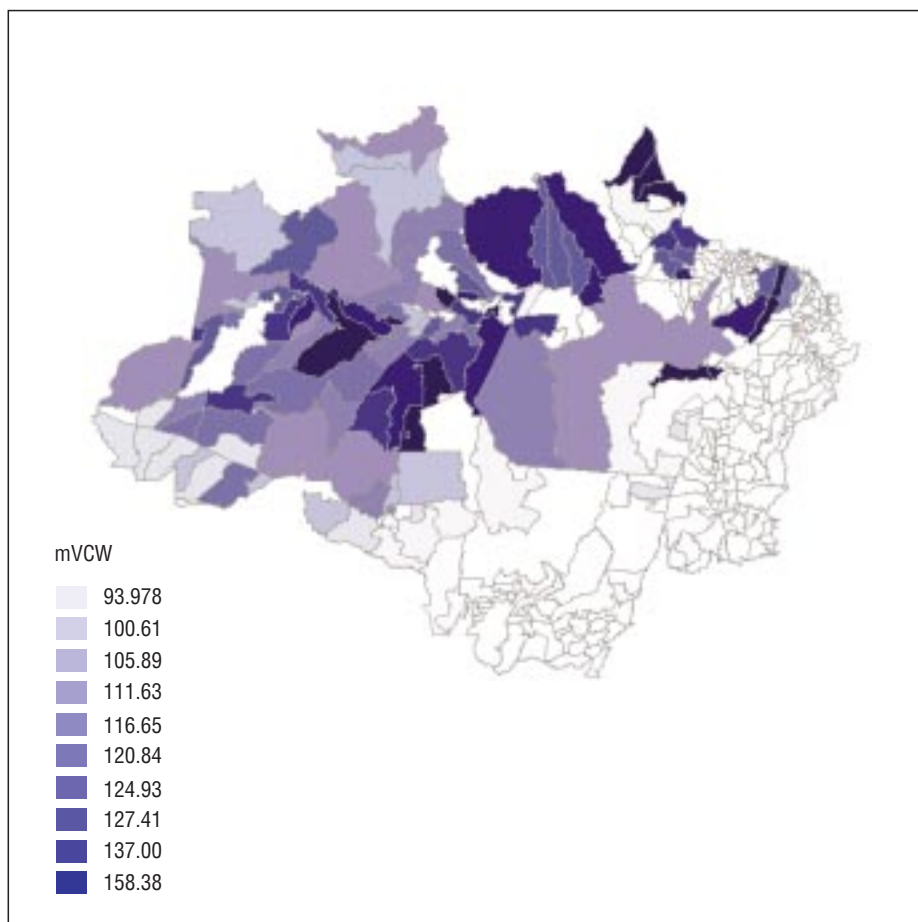
Uma importante contribuição deste estudo é considerar a hipótese realista de incerteza sobre o estoque inicial de madeira acumulado na área delimitada para concessão. Propomos um método de estimação para avaliar a distribuição de probabilidade do volume de madeiras em qualquer região bem como a evolução de preços futuros das toras. A distribuição do volume é especificada em um modelo espacial como função de características geográficas da região e de sua vizinhança.

A precariedade dos dados disponíveis e a falta de dados específicos de Flonas reais fazem com que os resultados obtidos sejam apenas indicativos do valor da concessão; entretanto, acreditamos que esses resultados sejam suficientemente reveladores e motivem a aplicação da metodologia proposta com um conjunto de parâmetros que seja considerado mais realista.

Apêndice

Cartogramas com a distribuição do valor esperado da densidade da biomassa estimada, segundo o modelo (mVC) que não considera a tendência espacial e o (mVCW) que considera.





Abstract

The Brazilian government is now planning to implement natural forest concessions for timber extraction. In addition to the legal requirements imposed on the management of concessions (minimum reserves, maximum extraction rates, etc.), the value of concessions is closely linked with uncertainties in estimates of the volume of commercial logs within the concession area and on future timber prices.

This paper proposes a method to appraise the value of forest concessions based on the option theory to price real asset (ROT). By combining the hypothesis of uncertainties in the volume of logs in a concession and future wood prices with intertemporal maximization of profits, the method provides a more realistic estimate of the market value of concessions than does net present value (NPV), which does not take these uncertainties into account.

Comparison between estimates using NPV and ROT shows that the latter are systematically higher. For the reference case, for example, the values using ROT are 140% higher. Since forest concessions are public resources, differences of that magnitude cannot be neglected. The paper also proposes methods to estimate the probability distribution of logging volumes in concession areas along with future prices. The volume distribution is specified in a spatial model as a function of geographic characteristics of the area as well of the neighboring areas.

Bibliografia

- AMES, W. F. *Numerical methods for partial differential equations*. Academic Press, 1977.
- ANSELIN, L. *Spatial econometrics: methods and models*. 1987.
- BARRETO, P. *Rentabilidade da produção de madeira em terras públicas e privadas na região de cinco florestas nacionais da Amazônia*. 1999 (Relatório Técnico).
- BARRETO, P., VERÍSSIMO, A. *Informações e sugestões para a criação e gestão de florestas públicas na Amazônia*. 1999 (Relatório Técnico).
- BRENNAN, M. J., SCHWARTZ, E. Evaluating natural resource investments. *Journal of Business*, v. 58, Apr. 1985.
- CONRAD, J. M. Analysis on the option value of old-growth forest. *Ecological Economics*, v. 22, 1997.
- DIXIT, A., PINDYCK, R. S. *Investment under uncertainty*. Princeton University Press, 1994.
- FERRAZ, C., SEROA DA MOTTA, R. Concessões florestais e exploração madeireira no Brasil: condicionantes para a sustentabilidade. *Planejamento e Políticas Públicas*, v. 18, p. 259-286, dez. 1998.
- TRIGEORGIS, L. *Real options: managerial flexibility and strategy in resource allocation*. The MIT Press, 1996.
- MERTON, R. C. Option pricing when underlying stock returns are discontinuous. *Journal of Financial Economics*, v. 3, 1976.
- MORCK, R., SCHWARTZ, E., STANGELAND, D. The valuation of forest resources under stochastic prices and inventories. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, v. 24, n. 4, Dec. 1989.
- PINDYCK, R. S. Uncertainty in the theory of renewable resource markets. *Review of Economic Studies*, v. LI (2), n. 165, Apr. 1984.
- RADAM. *Relatório Técnico*.
- SMITH, G. D. *Numerical solution of partial differential equations*. Oxford Mathematical Handbooks, Oxford University Press, 1971.

- STONE, S. W. Evolution of the timber industry along an aging frontier: the case of Paragominas (1990/95). *World Development*, v. 26, n. 3, 1998.
- TOURINHO, O. A. *The valuation of reserves of natural resources: an option pricing approach*. Berkeley: University of California, 1979 (Unpublished Ph.D. Dissertation).
- VERÍSSIMO, A., BARRETO, P., MATTOS, M., TARIFA, R., UHL, C. Logging impacts and prospects for sustainable forest management in an old Amazonian frontier: the case of Paragominas. *Forest Ecology and Management*, v. 55, 1992.
- VERÍSSIMO, A., BARROS, A. C. *A expansão da atividade madeireira na Amazônia — impactos e perspectivas para o desenvolvimento do setor florestal do Pará*. Imazon, 1996.
- VERÍSSIMO, A., JÚNIOR, S. *Política florestal coerente para Amazônia: zoneamento florestal, Flonas e monitoramento florestal*. Imazon, jul. 1997.
- YOUNG, C. E. F., FAUSTO, J. R. B. *Valoração de recursos naturais como instrumento de análise da expansão da fronteira agrícola na Amazônia*. IPEA, jun. 1997 (Texto para Discussão Interna, 490).

(Originais recebidos em dezembro de 2000. Revistos em abril de 2001.)