

# Política do IBAMA para Produtores de Carvão com Plano de Manejo Florestal no Semi-Árido Nordestino: Uma Análise pela Abordagem Principal-Agente

**Cassandro Maria da Veiga Mendes**

*Doutorando em Economia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS),  
Brasil*

**Luciano Menezes Bezerra Sampaio**

*Professor do Departamento e Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal  
do Rio Grande do Norte (UFRN), Bolsista de Produtividade do CNPq, Brasil*

**Paulo Amilton Maia Leite Filho**

*Professor Associado do Departamento e Pós-Graduação em Economia da Universidade  
Federal da Paraíba (UFPB), Brasil*

---

## Resumo

A vegetação de caatinga, usada para produção de lenha e carvão, resulta em renda para as famílias rurais da região Nordeste. O Ibama cogitou o cancelamento da isenção de taxa de vistoria aos produtores de carvão com plano de manejo florestal. O modelo principal-agente desenvolvido enfatiza que a probabilidade de um produtor desmatar além do limite estabelecido no plano de manejo depende da pena estipulada pelo principal (Ibama) para tal infração. Simulações indicaram que a isenção da taxa pode reduzir sensivelmente a probabilidade de desmatamento além do limite pré-estabelecido, quando existem situações favoráveis à obtenção de receitas em outras atividades.

*Palavras-chave:* Principal-Agente, Preservação Ambiental, Ibama, Produtores de Carvão

*Classificação JEL:* Q10, D82, Q23

---

## Abstract

Caatinga vegetation, used for firewood and coal production, results in income to rural families in the Brazilian Northeast. Ibama has questioned the exemption of the inspection tax to producers who adopt forest management plans. The Principal-Agent model shows the probability that a producer exceeds the cutting area established in the plan depends on the fine value stipulated by the principal (Ibama) for this infraction. Simulations indicated that the tax exemption can markedly reduce the probability of excess cutting, when there is a favorable situation for income obtained from other activities.

## 1. Introdução

O desmatamento é um problema ambiental de destaque para países com grandes áreas de florestas tropicais como é o caso da Tailândia, Indonésia e Brasil. Dentre os tipos de floresta tropical, a caatinga localiza-se em regiões de baixo índice pluviométrico e distribuição irregular das chuvas o que faz com que a vegetação tenha crescimento também disperso ao longo do ano, com maiores taxas no período chuvoso (Araújo et alii 1995).

No Brasil, principalmente no Nordeste, a área constituída pela caatinga é muito importante, não somente devido a sua extensão (corresponde a aproximadamente 58% da área da região Nordeste, ou seja, cerca de 900.000 km<sup>2</sup>, segundo, Ferraz et alii (2003)), como pela sua biodiversidade e, conseqüentemente, como fonte de renda para as famílias. No Nordeste, milhares de hectares são desmatados para a produção de lenha, formação de pastagens e abertura de novos campos agrícolas, usualmente associados a queimadas e posterior abandono (Salcedo et alii 1997).

O processo de valorização da caatinga exige a demonstração às populações das possibilidades de ganhos econômicos com a mesma e da sua importância para a subsistência das famílias no longo prazo. Assim, a preservação da caatinga na região Nordeste e no semi-árido, em geral, além de sua importância ambiental, garante um estoque energético que pode ser usado pelas gerações futuras para gerar renda familiar, muitas vezes garantindo a subsistência.

A utilização dos recursos florestais da caatinga se acentua ano após ano, com uma significativa redução da cobertura vegetal nativa por causa da abertura de novos campos de cultivo e implantação de pastagens. Por outro lado, a demanda elevada de produtos florestais (madeira para a fabricação de carvão, a venda de lenha, a extração de materiais para cercas) indica a necessidade de se estudar e desenvolver propostas de uso sustentado, com planos de manejo, da vegetação de caatinga.

Em alguns projetos desenvolvidos por Organizações Não-Governamentais em parceria com o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (Ibama), o uso da madeira extraída da caatinga para a produção de carvão vegetal, é uma preocupação [relevante] para o uso sustentável desse recurso florestal. O Ibama e a organização não-governamental Associação Plantas Nordeste (APNE) desenvolveram um projeto para avaliar as possibilidades econômicas do uso racional da caatinga, sobretudo a exploração da vegetação com emprego de manejo florestal. Além das possibilidades econômicas, a APNE tem trabalhado na conscientização das populações locais para uma melhor utilização destes recursos e ainda intermediou

---

\* Recebido em março de 2009, aprovado em abril de 2011.

*E-mail addresses:* cassandromendes@hotmail.com, luciano.sampaio@pq.cnpq.br, pmaiaf@hotmail.com

um acordo com o Ibama para isenção de taxas de vistoria, cobradas por este aos pequenos produtores que se envolvessem no projeto de manejo.

Contudo, após o primeiro ano do projeto, o Ibama questionou a isenção da cobrança da taxa de vistoria aos produtores do projeto de exploração da caatinga com manejo e mostra-se hesitante quanto a sua permanência. As associações não-governamentais e os produtores alegam que a volta da cobrança desta taxa compromete a viabilidade da atividade e incentiva o desmatamento ilegal.

O presente trabalho analisa como a isenção, empregada inicialmente pelo Ibama junto aos pequenos produtores incluídos em programas de manejo florestal na região de caatinga do semi-árido de Pernambuco, está associada à probabilidade de desmatamento por parte destes produtores. Como objetivo específico, procura-se identificar os comportamentos ótimos do Ibama e dos produtores diante desta situação “contratual” e avaliar os fatores que influenciam a probabilidade do produtor desprezeitar o plano de manejo pré-estabelecido.

Para tanto, foi utilizado o Modelo do Principal-Agente com assimetria de informação, o que permite, através da identificação do equilíbrio de Nash perfeito Bayesiano, identificar, teoricamente, as probabilidades de um produtor (agente), após requerer um bônus, desmatar além do limite estabelecido no plano de manejo. Do lado do Ibama (o principal), é possível estabelecer uma probabilidade, também teórica, que compense a realização de uma fiscalização sobre a área de caatinga de um produtor de carvão com manejo.

O trabalho, além desta Introdução, está estruturado como segue: a Seção 2 descreve brevemente o projeto de manejo da região e a sustentabilidade da produção de carvão para os pequenos produtores participantes do mesmo; a Seção 3 apresenta a metodologia – o Modelo Principal-Agente e sua adaptação para o caso em estudo; a Seção 4 apresenta os resultados e discussões; e a Seção 5, as Conclusões.

## **2. Sustentabilidade e Regulamentação da Produção de Carvão no Semi-Árido Pernambucano**

Em colaboração com a APNE, a partir de 2002, o programa nacional de floresta tem desenvolvido no interior de Pernambuco projetos com o objetivo principal de preservar a área de caatinga no estado. A APNE desenvolveu um estudo, em 2006, para verificar a sustentabilidade de seu projeto de manejo na caatinga, o qual abrangia pequenos produtores de carvão em três municípios (Custódia; Sertânia e Betânia) da região de Moxotó-PE. O objetivo geral do estudo foi analisar a viabilidade econômica do manejo na caatinga do Sertão do Moxotó, definindo estratégias de ação para os pequenos e médios produtores que garantam sua sustentabilidade. Dentre os objetivos específicos, pertinentes para este trabalho, destacaram-se: quantificar a demanda de energéticos florestais (carvão e lenha) nos setores domiciliar, industrial e comercial da região; estimar os custos, receitas e conseqüentemente o lucro dos produtores do Projeto Piloto com a atividade; e simular o efeito sobre a viabilidade econômica dos produtores de

possíveis mudanças no ambiente (como a volta da cobrança de taxa pelo IBAMA, o pagamento pelo plano de manejo, etc.); e propor possíveis soluções para a comercialização com o intuito de aumentar a receita dos produtos de recursos florestais da caatinga, incluindo possíveis mercados não explorados; comercialização via associação (cooperativas).

Os resultados do estudo da APNE indicaram que os maiores demandantes de carvão e lenha são as famílias e as empresas industriais. Para o consumo familiar, verificou-se que o carvão é o principal energético utilizado, representando cerca de 62% do consumo nas zonas urbanas e 65% nas zonas rurais. Para as indústrias da região, o elemento energético mais utilizado é a lenha.

Sobre a lucratividade dos produtores de carvão que realizam manejo florestal, mostrou-se que ela torna-se bastante reduzida caso o Ibama volte a cobrar taxas de vistoria. Com a reintrodução das taxas do Ibama, mesmo que os pequenos produtores não paguem pelo manejo florestal, os lucros contábeis seriam negativos, de forma que impossibilitaria a produção para o mercado local, dado os preços praticados. Assim, um dos incentivos criados com a taxa é o desmatamento de áreas protegidas, para a produção ilegal de carvão. Estes resultados consideraram que o custo com o plano de manejo florestal (obrigado por lei, caso haja corte da vegetação) é de R\$ 1998,00 para áreas inferiores a 50 hectares e que a taxa de vistoria do Ibama corresponde a R\$ 250,00 para áreas menores de 250 hectares.<sup>1</sup>

A principal questão para a inviabilidade da produção é a taxa de vistoria do Ibama, uma vez que o Plano de Manejo pode ser financiado a taxas de juros muito baixas, pelo Governo Federal, através do Pronaf.

A forma de combate à ilegalidade pelo Ibama, instituída por lei, associa os tipos de crimes ambientais e penalidades correspondentes. A Tabela 1 apresenta o resumo de algumas destas penalidades para os crimes florestais.

Tabela 1  
Multas para infrações para crimes ambientais

Tipos de Crimes	Penalidades (Multas)
Destruir floresta considerada de preservação permanente	R\$ 1.500.00 a R\$ 50.000.00/hectare
Destruir árvores em florestas consideradas de preservação permanente	R\$ 1.500.00 a 5.000.00/m <sup>3</sup>
Provocar incêndios em matas ou florestas	R\$ 1.500.00/ hectare
Cortar ou transformar em carvão a madeira de lei, assim classificada em ato do poder público, para vários fins	R\$ 500.00/ m <sup>3</sup>

Fonte: A partir de IBAMA (2005).

<sup>1</sup> O Anexo 1 apresenta as taxas cobradas pelo Ibama para vistorias que variam de acordo com a área de produção. Os valores estão estipulados pela Lei N<sup>o</sup> 9.960, de 28 de janeiro de 2000.

É importante destacar que a principal função do Ibama é a preservação do meio-ambiente. Também se ressalta que a lei de desmatamento para o Estado de Pernambuco é a mesma independente do tipo de floresta, e do agente que está infringindo a lei, seja este uma empresa exploradora de madeira na região Norte ou uma família produtora de carvão no Nordeste. Enfim, o desmatamento tem aumentado em Pernambuco e em todo país, o que talvez mostre a necessidade de leis mais específicas de acordo com os agentes e os ambientes envolvidos. O presente trabalho analisa apenas o caso de produtores que realizam manejo na caatinga nordestina.

### 3. Modelo Principal-Agente para Produtores de Carvão e Ibama<sup>2</sup>

No modelo principal-agente existe um proprietário (principal) e um contratado (o agente). Devido à existência da assimetria de informações, as ações do agente ou informações sobre ele, não podem ser, parcial ou totalmente, observadas. Uma característica destes modelos é a presença de informação imperfeita (Arnott e Stiglitz 1988; Laffont e Martimort 2002; Bolton e Dewatripont 2005).

O modelo teórico desenvolvido neste trabalho apresenta o Ibama como Principal cuja função é desenhar um mecanismo de incentivo que garanta a preservação das reservas áreas de caatinga de produtores de carvão com plano de manejo florestal. O agente é uma família típica produtora de carvão da região do semi-árido pernambucano que explora a vegetação para obter renda.

Para adequação do modelo ao problema do desmatamento foram consideradas as seguintes suposições. O governo (ou as organizações governamentais, no caso o Ibama) é o Principal que propõe um bônus, por exemplo, a isenção da taxa de vistoria, ao agente (a família produtora de carvão) com o objetivo de induzir o mesmo a não ultrapassar o limite estabelecido no plano de manejo.

A receita total do Ibama é determinada por  $(\tau + v) = p$ , onde  $\tau$  é a taxa de vistoria cobrada pelo Ibama e  $v$  são os recursos do governo federal transferidos ao IBAMA. O agente tem consciência de que os ganhos do desmatamento ilegal são limitados e de curto prazo, enquanto o bônus proposto pelo Ibama é de longo prazo. O agente é Averso ao risco e, portanto sua função de utilidade é do tipo Von Neumann-Morgenstein, onde:  $u'(\cdot) > 0$ ,  $u''(\cdot) < 0$ . Uma hipótese simplificadora, e importante para este trabalho, é a suposição de dois estados da natureza: sorte ou azar, com o estado “sorte” sendo caracterizado pela não necessidade de desmatamento além do limite permitido pelo Ibama dada a indisponibilidade de outras fontes de renda (este estado ocorre com probabilidade  $\pi$ ) e o estado “azar” correspondendo a necessidade de desmatamento além do limite (a qual ocorre com probabilidade  $1 - \pi$ ) dadas condições adversas de mercado, isto é, baixos ganhos com outras atividades. Esta hipótese foi adotada uma vez que os produtores de carvão entrevistados foram unânimes em atribuir a infração da lei

<sup>2</sup> A modelagem apresentada nesta seção baseia-se nos trabalhos de Boyer (2000) e Boyer e Léger (2001), os quais analisam respectivamente, o mercado de trabalho, de seguros e de inflação.

(desmatamento além do limite estabelecido no plano de manejo) às receitas obtidas em outras atividades. No trabalho, é esta hipótese que faz este ser um problema de seleção adversa com a natureza decidindo a probabilidade do produtor necessitar ou não de desmatar mais que o permitido. O limite do desmatamento é definido pelo Ibama e este limite corresponde ao extremo superior do intervalo:  $L \in (l^*, l^*)$ . Para níveis de desmatamento abaixo do limite, ou seja, se  $l^* \leq L \leq l^*$  ou  $0 \leq L \leq l^*$  (para o caso mais simples, supondo  $l^* = 0$ ), o Ibama estabelece um bônus ( $\vartheta$ ) para os produtores, o qual depende de um relatório positivo sobre o produtor, que pode implicar em um desconto na taxa de vistoria ou ainda em uma facilidade de obter um empréstimo à um custo menor que o de mercado ou uma transferência direta de renda.<sup>3</sup> Assim, supõe-se que  $\vartheta > 0$ , de forma que para os produtores,  $u'(\vartheta) > 0$ . As possíveis ações do agente são: requerer o bônus ou não e em seguida decidir, após as ações da natureza, se desmata além do limite ou não. As possíveis ações do principal são investigar o agente ou não, ou seja, realizar fiscalização de sua área ou não. Há dois tipos de agentes – os que respeitam os limites e os que não o fazem e, a priori, não é possível verificar quem é quem. Assim, trata-se de um jogo com assimetria de informação: caso o agente seja pego burlando o sistema de bônus, ou seja, tem plano de manejo (recebe o bônus) e desmata mais que o limite superior, ele é penalizado. Supõe-se que quando o agente não respeita o limite imposto e é investigado ele é pego e neste caso, sofre duas penalidades: uma por ter desmatado além do limite ( $\eta^\eta \geq 0$ ) onde  $\eta \in (0, \beta]$ ; e outra por ter pedido o bônus ( $\phi^\phi > 0$ ). Para o principal a decisão de investigar, ou fiscalizar um agente, resulta certo custo irrecuperável, dado por:  $k^k > 0$ .

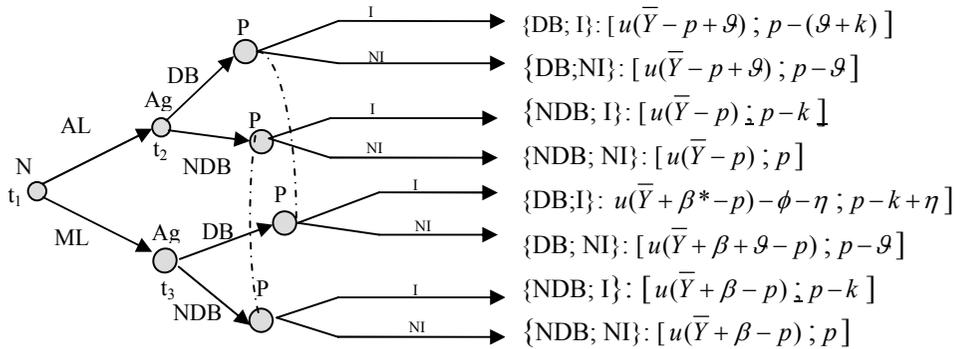
A Figura 1 apresenta o jogo com informação assimétrica, baseado nas suposições feitas. A natureza é representada por  $N$  e seus dois estados possíveis são: sorte – desmatamento até o limite permitido pelo Ibama (AL); e azar – desmatamento além do limite imposto (ML). O produtor pode demandar o bônus (DB) ao Ibama ou não (NDB). O Principal (o Ibama) tem as seguintes ações disponíveis: investigar o produtor (I), ou não investigar o produtor (NI).

O Jogo começa com a natureza. Ela “joga” desmatamento controlado (estado de sorte), AL, ou desmatamento além do limite (estado de azar), ML. Esta informação é privada para o agente. Depois de conhecer o estado da natureza resultante o agente escolhe se vai demandar o bônus ou não. O principal, o Ibama, depois de observar as ações do agente, mas sem conhecer o estado da natureza (e por isso as linhas tracejadas da Figura 1), pode, num terceiro momento, investigar ou não o produtor que demandou o bônus. Os possíveis resultados do jogo estão resumidos na Tabela 2.

Pode-se obter o equilíbrio perfeito Bayesiano deste jogo dado que se trata de um jogo seqüencial onde rege a informação imperfeita sobre os estados da natureza e da incerteza do principal em relação às ações do Agente.

<sup>3</sup> Recentemente o Governo do Amazonas estabeleceu um programa de transferência direta, o Bolsa-Floresta, para combater o desmatamento da Floresta Amazônica.

<sup>4</sup> Outros trabalhos incorporam as penalidades dentro da utilidade do produtor, ver Picard (1996).



Fonte: Elaboração dos autores.

Fig. 1. Apresentação do jogo entre o produtor de carvão e o Ibama

Tabela 2

Resumo do espaço amostral dos pares de ações do principal e do agente, dados os dois possíveis estados da natureza

Estado da natureza	Ação do produtor	Ação do Ibama	Payoff para o produtor <sup>4</sup>	Payoff para o Ibama
ML	DB(dem.bônus)	I(Investigar)	$u(\bar{Y} + \beta - p) - \psi - \eta$	$p - k + \eta$
ML	NDB(não dem.bônus)	NI(não invest.)	$u(\bar{Y} + \beta - p)$	$p$
ML	DB	NI	$u(\bar{Y} + \beta + \vartheta - p)$	$p - \vartheta$
ML	NDB	I	$u(\bar{Y} + \beta - p - \eta)$	$p - k + \eta$
AL	DB	I	$u(\bar{Y} - p + \vartheta)$	$p - (\vartheta + k)$
AL	NDB	NI	$u(\bar{Y} - p)$	$p$
AL	DB	NI	$u(\bar{Y} - p + \vartheta)$	$p - \vartheta$
AL	NDB	I	$u(\bar{Y} - p)$	$p - k$

Obs: As variáveis não definidas nas suposições acima são:  $\beta$  que representa os ganhos com o desmatamento além do limite e  $\bar{Y}$  representa a renda da família que independe da produção do carvão.

No entanto, neste espaço amostral, algumas ações – sublinhadas na Tabela 2 – nunca seriam tomadas pelo agente ou pelo principal, dadas as suposições feitas anteriormente. O equilíbrio é encontrado em estratégias mistas, na medida em que, quando o agente não pede o bônus, o principal pode, apenas de forma aleatória, escolher em investigar (com uma probabilidade  $\psi$ ) ou não (com uma probabilidade  $1 - \psi$ ) o agente. O agente que desmatou mais que o limite pode demandar (com uma probabilidade  $\alpha$ ) ou não o bônus ao principal.

Dado que é considerado crime o requerimento do bônus quando o desmatamento

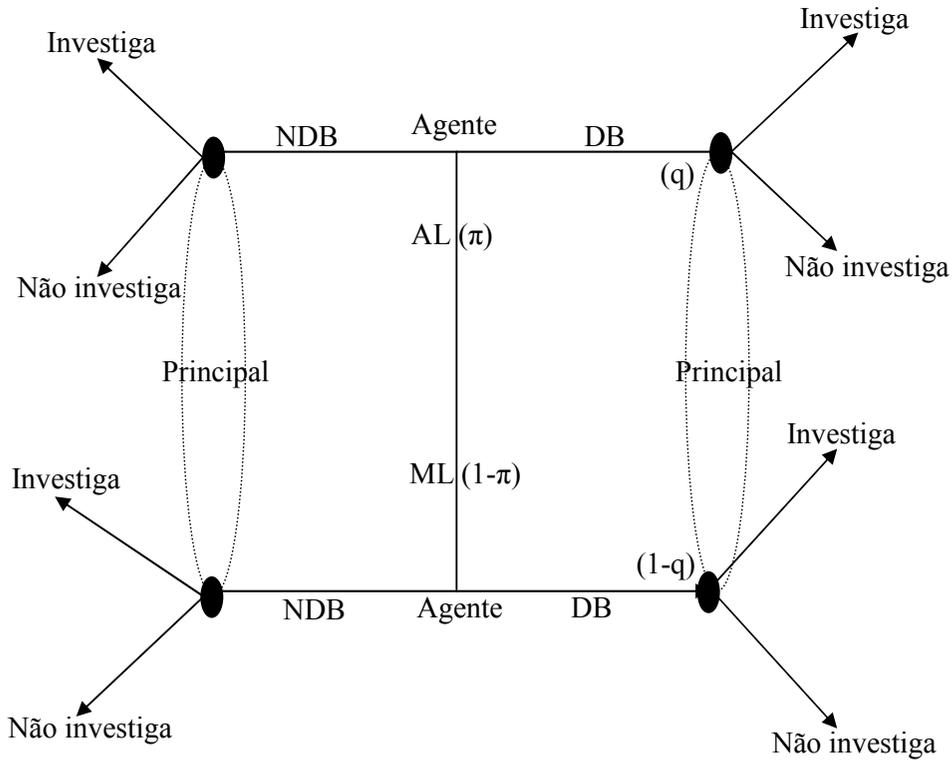


Fig. 2. Jogo entre o produtor e o Ibama, considerando as probabilidades discutidas

é maior que o proposto pelo Ibama, pode-se calcular a probabilidade de um agente recorrer a um bônus dado que ele não respeitou o limite imposto, ou seja, calcular a probabilidade  $\alpha$ .

Como o principal joga após o agente, ele não sabe em que nó se encontra, mas ele pode ter uma crença com relação às opções do agente (Rasmusen 1996). A probabilidade  $q$  representa a crença do principal de que o agente não ultrapassa o limite de desmatamento com manejo, ou seja, que o agente pede o bônus dado que a natureza jogou AL (na Figura 2, corresponde a crença do Principal de estar no nó superior do lado direito quando vai escolher sua ação). A regra de Bayes define que a probabilidade do principal acreditar que está neste nó (direito superior) é dada por:

$$q = \frac{prob(AL)prob(Bonus/AL)}{prob(AL)prob(Bonus/AL) + prob(ML)prob(Bonus/ML)} \quad (1)$$

Substituindo estas probabilidades pelas definidas anteriormente, chega-se a:

$$q = \frac{\pi}{\pi + (1 - \pi)\alpha} \quad (2)$$

Neste jogo em estratégias mistas, a melhor ação do agente é aquela que faz com que o principal seja indiferente entre investigar ou não o crime. O principal é indiferente se e somente seu ganho com a investigação (dadas às probabilidades da crença do principal) for igual ao ganho caso ele não a realize. Para tanto, a probabilidade  $\alpha$  tem de satisfazer a seguinte condição:<sup>5</sup>

$$(p - \vartheta - k)q + (p - k + \eta)(1 - q) = p - \vartheta \quad (3)$$

Dado que o Agente demanda o bônus, os ganhos do Principal dependem da probabilidade  $q$  que ele considera sobre os estados da natureza. O ganho esperado do principal é obtido fazendo a probabilidade  $q$  (sua crença correspondente ao estado da natureza de “sorte”) vezes o seu ganho para este estado somado a probabilidade  $(1 - q)$  vezes seu ganho para este estado (lado esquerdo da equação 3). A parte do lado direito da equação (3) corresponde ao ganho do principal caso ele opte simplesmente por não investigar o agente. Substituindo a equação (2) na equação (3), obtém-se:

$$\alpha = \frac{\pi}{1 - \pi} \frac{k}{(\vartheta - k + \eta)} \quad (4)$$

A equação (4) indica a probabilidade do agente demandar o bônus, dado que ele ultrapassou o limite legal de desmatamento, ou seja, a probabilidade de que ele cometa o crime.

Esta probabilidade é inversamente dependente do valor do bônus estipulado, ou seja, quanto maior o bônus pago pelo principal, menor é a probabilidade do agente cometer o crime ( $\frac{\partial \alpha}{\partial \vartheta}$ ). A explicação para este resultado depende da análise posterior da probabilidade do principal investigar o agente.

*Proposição 1: A probabilidade de que o agente cometa o crime é uma função inversa dos incentivos pagos pelo principal.*

Prova:

$$\text{Dado que: } \alpha = \frac{\pi}{1 - \pi} \frac{k}{(\vartheta - k + \eta)}$$

$$\text{tem-se que: } \frac{\partial \alpha}{\partial \vartheta} = - \left[ \frac{\pi}{1 - \pi} \right] \left[ k (\vartheta - k + \eta)^{-1} \right]$$

$$\text{Se supõe-se que: } (\vartheta + \eta) > k, \text{ logo } \frac{\partial \alpha}{\partial \vartheta} < 0$$

Da equação (4), também se conclui que a probabilidade do agente cometer o crime é uma função inversa do valor da punição devido ao desmatamento acima

<sup>5</sup> Este problema pode ser interpretado pela ótica dos custos como apresentado por Boyer (2000); Boyer e Léger (2001). Para este caso  $q$  teria de resolver a seguinte equação:  $-(\vartheta + k)q + (-k)(1 - q) = -\vartheta$ , ou seja, o principal estaria indiferente em investigar se e somente se o custo para tal ação fosse igual ao custo de não investigar.

do limite ( $\frac{\partial \alpha}{\partial \eta} < 0$ ).

*Proposição 2: A probabilidade de que o agente cometa o crime é uma função inversa dos custos pagos quando o agente desmata mais que o limite estabelecido.*

Quanto maior for este valor, maior é a probabilidade do principal investigar, uma vez que este recurso é transferido totalmente para o principal. Ressalta-se novamente que o valor da punição corresponde a duas partes: esta ( $\phi$ ) que é transferida para o principal que é função da área desmatada acima do limite; e uma outra ( $\eta$ ) que é fixa e cobrada devido ao agente ter pedido o bônus e não respeitado o limite.

*Proposição 3: A probabilidade de que o agente cometa o crime é uma função direta do estado de “sorte” do estado da natureza.*

Prova:

$$\text{Dado que: } \alpha = \frac{\pi}{1 - \pi} \frac{k}{(\vartheta - k + \eta)}$$

$$\text{Se } (\vartheta + \eta) > k, \text{ de forma que } \frac{k}{(\vartheta - k + \eta)} > 0$$

$$\text{Logo: } \frac{\partial \alpha}{\partial \pi} > 0$$

Verifica-se agora a probabilidade do principal investigar o agente. A melhor opção para o principal, dado que ele já sabe que se encontra na parte direita da Figura 2, é avaliar até que ponto o agente é indiferente entre cometer o crime ou não (Boyer 2000; Boyer e Léger 2001). Assim, dada a probabilidade do principal em investigar a demanda por bônus, o agente é indiferente entre cometer ou não o crime, se e somente se, é satisfeita a seguinte condição:

$$[u(\bar{Y} + \beta - p) - \phi - \eta] \Psi + u(\bar{Y} + \beta - p + \vartheta)(1 - \Psi) = u(\bar{Y} + \beta - p) \quad (5)$$

Resolvendo a equação acima, obtêm-se o valor da probabilidade do principal investigar o crime:

$$\begin{aligned} \Psi &= \frac{u(\bar{Y} + \beta - p) - u(\bar{Y} + \beta - p - \vartheta)}{(u[\bar{Y} + \beta - p] - \psi - \eta) - u(\bar{Y} + \beta - p + \vartheta)} \\ &\quad *(-1) \\ \Psi &= \frac{u(\bar{Y} + \beta - p - \vartheta) - u(\bar{Y} + \beta - p)}{u(\bar{Y} + \beta - p + \vartheta) - (u[\bar{Y} + \beta - p] - \psi - \eta)} \quad (6) \\ &\text{ou} \\ \Psi &= 1 - \frac{-u(\bar{Y} + \beta - p)}{u(\bar{Y} + \beta - p + \vartheta) - (u[\bar{Y} + \beta - p] - \psi - \eta)} \end{aligned}$$

A probabilidade de investigar um agente depende dos possíveis ganhos que o principal pode auferir ( $\frac{\partial \Psi}{\partial \eta} > 0$ ), de forma que, o principal tem um incentivo monetário em investigar o agente, dado que foi considerado que a receita do principal é uma função direta do valor cobrado por desmatamento acima do limite.<sup>6</sup> A consequência para o agente é que quanto maior o valor cobrado pelo desmatamento acima do limite, menor é a probabilidade dele cometer o crime.

Verifica-se também, que quanto maior for o bônus, maior é a probabilidade de o principal investigar o agente, ou seja:  $\frac{\partial \Psi}{\partial \theta} > 0 \rightarrow \frac{\partial \alpha}{\partial \theta} < 0$ .

Para uma determinada probabilidade  $\Psi^*$  do principal investigar um produtor, têm-se 3 possibilidades:

$$\begin{aligned} \alpha &= 0 \text{ se } \Psi^* > \Psi \\ \alpha &\in [0, 1] \text{ se } \Psi = \Psi^* \\ \alpha &= 1 \text{ se } \Psi > \Psi^* \end{aligned} \quad (7)$$

Caso a probabilidade  $\Psi^*$  seja menor do que aquela que faça com que o agente seja indiferente entre cometer o crime ou não, a probabilidade deste cometer o crime é zero. Caso contrário, relação inversa entre estas probabilidades, a probabilidade do agente cometer o crime é igual a uma unidade. No último caso, com as duas probabilidades iguais, a probabilidade de crime fica no intervalo entre o e 1.

#### 4. Resultados e Discussão

Esta seção apresenta alguns resultados e análise de sensibilidade para o modelo teórico, desenvolvido na seção anterior, dada a incorporação no mesmo de algumas outras suposições as quais caracterizam um produtor típico de carvão com realização de manejo do semi-árido pernambucano, mais especificamente da região de Moxotó e diante da estrutura de controle do Ibama.

##### 4.1. Contrato ótimo a ser proposto aos produtores de carvão da caatinga pelo IBAMA

Destaca-se novamente que a região analisada é caracterizada por baixo produto *per capita*, sendo o uso dos recursos naturais uma das formas de superar as dificuldades impostas e garantir uma renda mínima de subsistência. Portanto, o modelo aqui retratado se aplica a um ambiente onde os produtores “naturalmente” têm uma propensão em cometer o ato ilícito. Devido a esta suposição, não houve no modelo a separação entre os produtores que não são propensos a cometer o crime dos que nunca cometeriam o crime.<sup>7</sup>

<sup>6</sup> Mesmo o IBAMA sendo uma entidade governamental, sem fins lucrativos, a receita com as multas pode financiar as despesas do órgão.

<sup>7</sup> Nota-se que se poderia estabelecer uma dada proporção de agentes propensos a cometer o crime,  $\omega$ , e a daqueles produtores que nunca cometeriam o crime ( $1 - \omega$ ). Esta também poderia ser, em último

Sabe-se que o produtor de carvão irá escolher a probabilidade de cometer ( $\alpha$ ) o crime, de forma a maximizar a sua utilidade esperada, ou seja:

$$\begin{aligned}
 E(u) &= \pi\Psi u(\bar{Y} - p + \vartheta) + \pi(1 - \Psi)(\bar{Y} - p + \vartheta) \\
 &+ (1 - \pi)\Psi\alpha u(\bar{Y} - p - \psi - \eta) \\
 &+ (1 - \pi)(1 - \Psi)\alpha u(\bar{Y} - p + \vartheta) \\
 &+ (1 - \pi)(1 - \alpha)u(\bar{Y} - p)
 \end{aligned} \tag{8}$$

Assim, o contrato ótimo proposto pelo Ibama ao produtor da região deve resolver o seguinte problema de maximização:

$$\begin{aligned}
 \max_{p, \vartheta, \alpha} E(u) &= \pi\Psi u(\bar{Y} - p + \vartheta) + \pi(1 - \Psi)(\bar{Y} - p + \vartheta) \\
 &+ (1 - \pi)\Psi\alpha u(\bar{Y} - p - \psi - \eta) \\
 &+ (1 - \pi)(1 - \Psi)\alpha u(\bar{Y} - p + \vartheta) \\
 &+ (1 - \pi)(1 - \alpha)u(\bar{Y} - p)
 \end{aligned} \tag{9}$$

s.a:

$$\alpha = \pi 1 - \pi \frac{k}{(\vartheta - k + \eta)} \tag{10}$$

$$\Psi = \frac{u(\bar{Y} + \beta - p - \vartheta) - u(\bar{Y} + \beta - p)}{u(\bar{Y} + \beta - p + \vartheta) - (u[\bar{Y} + \beta - p] - \psi - \eta)} \tag{11}$$

$$p = \underbrace{\pi\vartheta}_{AL} + \underbrace{\alpha(1 - \Psi)(1 - \pi)\vartheta}_{ML} + \underbrace{k\pi\Psi + k(1 - \pi)\Psi\alpha}_{custos} \tag{12}$$

$$\text{Restrição de Participação} \tag{13}$$

A restrição (12) representa a condição clássica de que o principal tenha lucro zero. Ela mostra como se dividem os custos para a sociedade devido à existência de indivíduos que querem cometer o crime: o seu primeiro termo do lado direito apresenta o payoff para aquele que desmata até o limite proposto pelo Ibama e o segundo termo apresenta a parte dos recursos que deve ser transferida aos agentes que violam o regulamento, mas não são descobertos. O terceiro e último termo apresenta os custos da investigação do Ibama.

*Proposição 4 : A escolha dos pares de penalidade ( $\eta$ ) e bônus ( $\vartheta$ ) que maximiza o contrato proposto pelo Ibama, deve resolver as seguintes condições de primeira ordem:*<sup>8</sup>

caso, uma escolha realizada pela natureza o que incorporaria, na análise de contrato ótimo proposto pelo Ibama, dois tipos de utilidades dos agentes.

<sup>8</sup> Nota-se que não existe a restrição de participação. Para o caso, foi suposto, que existe uma solução interior, de forma que a restrição de participação é desnecessária.

$$\frac{\partial E}{\partial \vartheta} = \frac{\pi + (1 - \pi)(1 - \Psi)\alpha}{\bar{Y} - p + \vartheta} - \lambda_i \begin{bmatrix} \frac{\partial R_1}{\partial \vartheta} \\ \frac{\partial R_2}{\partial \vartheta} \\ \frac{\partial R_3}{\partial \vartheta} \end{bmatrix} = 0$$

$$\frac{\partial E}{\partial \eta} = -(1 - \pi)\alpha\psi - \lambda_i \begin{bmatrix} \frac{\partial R_1}{\partial \eta} \\ \frac{\partial R_2}{\partial \eta} \end{bmatrix} = 0 \quad (14)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_i} = 0$$

$$i = 1, 2, 3$$

onde o índice  $i = 1, 2, 3$  indica as restrições apresentadas nas equações 10, 11 e 12 respectivamente.

#### 4.2. Analisando a probabilidade do produtor desmatar além do limite do plano de manejo

A partir da probabilidade calculada na equação (4), foram feitas algumas hipóteses com o intuito de adequar os dados dos pequenos produtores ao modelo descrito, ou seja, procedeu-se a escolha de parâmetros para se fazer uma análise de sensibilidade da probabilidade do produtor desmatar além do limite estabelecido no plano de manejo. As hipóteses foram:

- A penalidade  $\eta$ , parte do lucro ilegal do produtor, transferida para o Ibama (correspondente a produção além do limite), foi considerada, para efeitos de simplificação, sendo o valor total do excedente, ou seja, fez-se  $\eta = \beta$ ;
- Para calcular o ganho com o desmatamento ilegal, usou-se a diferença entre os ganhos de desmatamento legal e ilegal para um produtor típico. Assim, comparou-se o valor do lucro de um produtor de 15 hectares que utiliza mão-de-obra própria e vende sua produção para as grandes cidades em embalagens de três quilos. O lucro contábil anual, para cada ha de corte, com o corte legal é de R\$1.486,7 e com o desmatamento ilegal é de R\$ 1.948,7. Assim o ganho proveniente do desmatamento ilegal ( $\beta$ ) é considerado de R\$ 462,0, de forma que,  $\eta = \beta = \text{R\$ } 462,0$ ;
- Assumiu-se que o custo de vistoria do Ibama corresponde exatamente ao valor cobrado pelo mesmo, ou seja, de R\$ 289,00.

Dadas as hipóteses consideradas, a probabilidade do produtor de carvão cometer o crime, da equação (4), e agora expressa em função apenas do valor do bônus a ser concedido pelo Ibama ao produtor, é dada por:

$$\alpha = \frac{\pi}{(1 - \pi)} * \frac{289}{\vartheta + 173} \quad (15)$$

O presente trabalho questiona o retorno do pagamento da taxa de vistoria pelos produtores de carvão da região. Caso a isenção da mesma permaneça, seria o

equivalente a concessão de um bônus pelo IBAMA ao produtor que realiza manejo de  $\vartheta = \text{R\$ } 289,00$ . Outra possibilidade é o retorno da cobrança da taxa, ou seja, bônus igual a zero.

A Tabela 3 apresenta uma análise de sensibilidade sobre a probabilidade de o produtor desmatar mais que o limite, cometer o crime, para valores da probabilidade de “azar” ( $\pi$ ) – probabilidade de condições adversas de obtenção de lucros com outras atividades – para três valores de bônus: o valor da taxa de vistoria; um valor igual a  $\text{R\$ } 1$ , o qual corresponderia a nenhum bônus; e o dobro da taxa de vistoria, caso o Governo pensasse no subsídio do manejo (uma forma de transferência direta, como o Bolsa-Floresta do Amazonas) da caatinga.

Tabela 3

Análise de sensibilidade sobre a probabilidade do produtor de cometer o crime adotando custo de vistoria  $k = \text{R\$ } 289,00$  e penalidade  $\eta = \text{R\$ } 462,00/\text{ha}$

Prob. $\pi$	Valor do bônus		
	R\$ 1,00	R\$ 289,00	R\$ 578,00
0,2	0,42	0,16	0,10
0,4	1,0	0,42	0,26
0,6	1,0	0,94	0,58

Fonte: Elaboração dos autores.

Destaca-se que a sensibilidade da probabilidade do produtor cometer o crime em relação ao bônus concedido é para as hipóteses consideradas. Evidentemente pode-se alterar o custo de vistoria do IBAMA ou a penalidade que foi atribuída como igual aos ganhos que o produtor tem por ha quando ultrapassa o limite estabelecido no manejo. Dadas as suposições feitas, a probabilidade é decrescente com o bônus e crescente com a probabilidade do estado da natureza de “azar”. Por exemplo, a probabilidade de crime passa de 42% para 16% quando o estado da natureza “azar” é caracterizado por probabilidade de ocorrência de 20% e o IBAMA passa a isentar os produtores da taxa de vistoria (bônus passa de  $\text{R\$ } 1$  para  $\text{R\$ } 289$ ).

## 5. Conclusões

Procurou-se analisar teoricamente o esquema ótimo de incentivos aos produtores baseado na concessão de um bônus, o qual pode ser interpretado como uma isenção ou redução na taxa de vistoria. Ou seja, analisou-se neste trabalho o sistema de isenção empregado inicialmente pelo Ibama aos pequenos produtores (áreas de até 60 hectares) incluídos em um programa de manejo florestal, na região de caatinga do semi-árido de Pernambuco, mais precisamente no município de Sertânia, microregião do Moxotó.

O modelo proposto, dadas à suposição de várias características do produtor e do Ibama, procurou identificar o efeito de uma política do Ibama sobre a probabilidade do produtor cometer o crime. Esta política é a implementação de um bônus concedido pelo Ibama aos produtores que o requerem e de um sistema de penalidades sobre os produtores que desmatam além do limite estipulado para a produção de carvão com manejo.

Os resultados mostraram que a probabilidade de um agente cometer o crime depende da penalidade estipulada pelo principal para o produtor que desmata além do limite (a probabilidade de que o agente cometa o crime é uma função inversa dos custos pagos quando o agente desmata mais que o limite estabelecido); a probabilidade de que o agente cometa o crime é uma função inversa dos incentivos pagos pelo principal; a probabilidade de que o agente cometa o crime é uma função direta do estado da natureza de “azar”.

Utilizando dados para a região estudada, calculou-se a probabilidade do produtor de carvão cometer o crime. Verificou-se, para o produtor, que variações, no caso aumento do bônus assim como uma menor probabilidade do estado da natureza de “azar” reduzem a probabilidade do produtor cometer o crime. O contrato ótimo a ser proposto pelo Ibama de forma a antecipar as possíveis ações dos produtores de carvão, resulta na escolha do par  $(\vartheta, \eta)$ .

Em resumo, segundo os resultados do modelo, o esquema baseado em bônus e penalidades, os quais podem ser vistos, respectivamente, como a isenção da taxa de vistoria do Ibama e a cobrança pelo não cumprimento do limite de desmatamento estabelecido, parece ser apropriado para a preservação da caatinga para os produtores de carvão com manejo florestal no sentido de reduzir a probabilidade de desmatamento além do limite pré-estabelecido no plano de manejo. Assim, o retorno da cobrança da taxa de vistoria do Ibama aos pequenos produtores de carvão com manejo da região é uma política que parece ir de encontro ao objetivo maior do IBAMA que é a preservação da área de caatinga.

## Referências bibliográficas

- Araújo, E. L., Sampaio, E. V. S. B., & Rodal, M. J. N. (1995). Composição florestica e fitossociologia de três áreas da caatinga de Pernambuco. *Revista Brasileira de Biologia*, 55(4):595–607.
- Arnott, R. J. & Stiglitz, J. E. (1988). The basic analytics of moral hazard. *Scandinavian Journal of Economics*, 90(3):383–413.
- Bolton, P. & Dewatripont, M. (2005). *Contract Theory*. MIT Press, Massachusetts.
- Boyer, M. M. (2000). Insurance taxation and insurance fraud. *Journal of Public Economic Theory*, 2(1):101–134.
- Boyer, M. M. & Léger, P. T. (2001). Cirano working papers. 2001s – 26, Montréal.
- Ferraz, E. M., Sampaio, E. V. S. B., & Rodal, M. J. N. (2003). *Physiognomy and Structure of Vegetation Along Altitudinal Gradient in the Semi-Arid Region of Northeastern Brazil*. Berlin.
- IBAMA (2005). Leis da vida: A lei dos crimes ambientais. Documento disponível em

<http://www.ibama.gov.br>.

- Laffont, J. & Martimort, D. (2002). *The Theory of Incentives, The Principal-Agent Model*. Princeton University Press.
- Picard, P. (1996). Auditing claims in the insurance market whit fraud: The credibility issue. *Journal of Public Economics*, 63:27–56.
- Rasmusen, E. (1996). *Games and Information, An Introduction to Game Theory*. Blackwell Publishers, Cambridge and Oxford, Reino Unido.
- Salcedo, I. H., Tiessen, H., & Sampaio, E. V. S. B. (1997). Nutrient availability in soils from shifting cultivation sites in the semi-arid caatinga of NE Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 65:177–186.

## Apêndice

### Anexo I – Taxas cobradas pelo IBAMA para vistorias de propriedades privadas

Vistoria	Custo de Vistoria
Vistorias para fins de loteamento urbano	532,00
Vistoria prévia para implantação de Plano de Manejo Florestal Sustentado (área projetada):	
Até 250 ha	289,00
Acima de 250 ha. – Valor	R\$ 289,00 + R\$ 0,55 por ha. excedente
Vistoria de acompanhamento de Plano de Manejo Florestal Sustentado (área explorada): Até 250 ha 289,00 Acima de 250 ha. - Valor R\$ 289,00 + R\$ 0,55 por ha. excedente Vistoria técnica de desmatamento para uso alternativo do solo de projetos enquadrados no Programa Nacional de Agricultura Familiar-PRONAF ou no Programa de Financiamento à Conservação e Controle do Meio Ambiente-FNE VERDE (área a ser explorada):	
Até Módulo INCRA por ano	ISENTO
Acima de Módulo INCRA por ano	Valor = R\$ 128,00 + R\$ 0,55 por ha excedente
Vistoria técnica para desmatamento para uso alternativo do solo e utilização de sua matéria-prima florestal	
Até 20 ha	ISENTO
De 21 a 50 ha/ano	160,00
De 51 a 100 ha/ano	289,00

Fonte: Elaboração própria, através dos dados de IBAMA (2005).