

O Preço Oculto do Fogo na Amazônia: Os Custos Econômicos Associados às Queimadas e Incêndios Florestais

*Maria del Carmen Vera Diaz*¹
Daniel Nepstad^{1,3}
*Mário Jorge Cardoso Mendonça*²
*Ronaldo Seroa da Motta*²
*Ane Alencar*¹
*João Carlos Gomes*²
*Ramon Arigoni Ortiz*²

Relatório do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) em colaboração
com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) e o Centro de Pesquisa Woods
Hole (WHRC)

Versão setembro de 2002

Os autores agradecem a Paulo Moutinho do IPAM pelo apoio oferecido ao longo da pesquisa e pelas suas valiosas sugestões e revisão do texto. A Cláudio Ferraz do IPEA e a Carlos Young do IE/UFRJ, pelas suas importantes contribuições durante o planejamento desse estudo. Somos igualmente gratos a Carolina Dubeux da COPPE/UFRJ por sua participação na elaboração do termo de referência e na análise dos resultados, a Márcia Pimentel da área de suporte do IPEA pela sua eficiente ajuda no tratamento de dados censitários e agrícolas, e aos estagiários Alexia Rodrigues e Luciano Veloso que participaram na coleta e processamento de dados.

Apoio Financeiro: US Agency for International Development, Large-Scale Atmosphere Biosphere Experiment (LBA-ECO, financiado pelo US NASA).

1 IPAM – Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia

2 Coordenação de Estudos de Meio Ambiente do IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

3 WHRC – Woods Hole Research Center

Resumo Executivo

O fogo é utilizado pelos agricultores da Amazônia para converter florestas derrubadas em cinzas durante processo de preparo da terra para o plantio. Ainda, auxilia no combate às plantas invasoras de pastagens. Estes benefícios do fogo, contudo, são contrabalançados pelos prejuízos que podem causar às propriedades privadas e à sociedade como um todo. Neste relatório, é apresentada uma estimativa dos custos econômicos do fogo na Amazônia, buscando fornecer uma visão mais integrada do papel desta ferramenta agrícola na região. Na escala das propriedades rurais, as principais perdas advindas do uso do fogo acontecem quando queimadas agrícolas escapam ao controle e atingem acidentalmente áreas vizinhas. Neste caso, se as áreas vizinhas atingidas forem constituídas de pastagens, os prejuízos com a perda do pasto, por exemplo, podem ser contabilizados pelo custo de arrendamento de outras pastagens durante cerca de três meses, tempo este necessário para que o capim queimado se recupere. Ainda, a estes prejuízos devem ser somados aqueles resultantes da destruição de cercas. Se as áreas vizinhas abrigarem florestas o custo econômico pode ser resultado da queima de madeira de valor comercial. Os prejuízos, no entanto, vão muito além dos limites das propriedades e podem ganhar proporções sociais. Neste sentido, foram estimadas as perdas relacionadas com a liberação de carbono para a atmosfera, a qual provoca prejuízos na economia por contribuir com o aquecimento global, e também as perdas associadas com doenças respiratórias provocadas pela fumaça dos incêndios florestais e das queimadas.

Este estudo foi possível devido às pesquisas extensivas sobre o fogo feitas pelo IPAM, envolvendo entrevistas detalhadas com 202 proprietários rurais da Amazônia, análises de imagens de satélite, e dados inéditos de áreas de incêndios florestais. Estimamos a área total queimada na Amazônia usando dados do satélite NOAA-12 para o período entre 1996 e 1999. Os prejuízos relativos às doenças respiratórias provocadas pela fumaça foram também estudados através de análises econométricas de dados fornecidos pelo SUS.

Os principais resultados contidos neste relatório indicam que as perdas econômicas na Amazônia resultantes da queima de pastagem e cercas variam entre US\$12 e 97 milhões por ano. Os incêndios florestais no ano El Niño 1998 atingiram uma área de aproximadamente 30.000 km², isto é, quase duas vezes a área desmatada anualmente na Amazônia, causando prejuízos pela queima de madeira que variam entre US\$ 1 a 13 milhões de dólares. Estas perdas impostas às propriedades rurais representam 0,1 e 0,2% do PIB da Amazônia, e 0,2 a 1,6% do PIB da produção agropecuária da região.

Os prejuízos sociais, contudo, foram maiores. O principal custo econômico provocado pelo fogo na Amazônia provém da liberação de carbono oriundo dos incêndios florestais. Foram 250 mais ou menos 220 milhões de toneladas de carbono emitido por incêndios florestais no ano El Niño de 1998. Em contraste, no ano sem a influência do El Niño de 1995 foram liberadas 16 mais ou menos 13 milhões de toneladas de carbono por este mesmo motivo. As emissões de carbono de 1998 significam um prejuízo econômico de US\$ 4,7 mais ou menos 4,6 bilhões. Em 1995, o valor das emissões foi de US\$290 mais ou menos US\$280 milhões. Nesta estimativa não está incluída a liberação de carbono pelo desmatamento (corte raso de florestas). A grande variação desta estimativa é devido às incertezas sobre a área de floresta afetada pelo fogo adicionando aí as incertezas sobre o efeito do incêndio florestal no estoque de carbono da floresta. Já as doenças respiratórias podem provocar perdas de US\$ 1 a 11

milhões por ano, como resultado de 4.000 a 13.000 intenações registradas. As perdas totais anuais causadas pelo fogo na Amazônia, na média, somam 107 milhões de dólares a 5 bilhões de dólares, ou seja, entre 0,2 e 9,3 % do PIB da Amazônia , ou entre 2 e 79% do PIB agropecuário da região.

Outros prejuízos provocados pelo fogo, contudo, não foram incluídos neste relatório, tais como aqueles resultantes da perda da biodiversidade nas florestas que sofreram incêndios, as possíveis alterações climáticas, a erosão e os danos causados pela exportação de fumaça para outras regiões. Mesmo assim, as estimativas reveladas neste estudo indicam que os prejuízos econômicos do fogo são bastante significativos, tanto para os produtores da região quanto para a estabilidade climática mundial. Tais prejuízos são frutos do atual modelo de desenvolvimento da região amazônica que mantém a dependência do uso do fogo no sistema agropecuário, causando perdas econômicas desnecessárias para região.

ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUÇÃO	5
2. CUSTOS DO FOGO PARA O PROPRIETÁRIO RURAL	7
2.1. Perdas Agropecuárias	8
2.1.1. Modelos Econométricos	10
2.1.2. Estimativa Física das Áreas de Pastagem e de Cerca Atingidas pelo Fogo Acidental	13
2.1.3. Valor Monetário das Perdas Agropecuárias	15
2.2. Perdas Florestais	16
2.2.1. Área de Floresta Atingida por Incêndios	17
2.2.2. Valor Monetário das Perdas Florestais	18
3. EXTERNALIDADES DO FOGO PARA A SOCIEDADE	20
3.1. Emissões de CO₂	20
3.1.1. CO ₂ Liberado para a Atmosfera por Incêndios Florestais	21
3.1.2. Custo Econômico das Emissões de CO ₂	23
3.2. Danos à Saúde Humana	24
3.2.1. Modelo Econométrico para Morbidade	25
3.2.2. Casos de Doenças Respiratórias Provocadas por Fumaça	28
3.2.3. Valor Monetário do Dano por Doenças Respiratórias	29
4. COMENTÁRIOS FINAIS	31
Anexo 1. Estimativa da Área Queimada	34
Anexo 2. Modelo Básico de Dados de Paineis	36
Anexo 3. Estimativa da Área de Incêndios Florestais	38
BIBLIOGRAFIA	40

1. INTRODUÇÃO

O uso do fogo constitui uma prática arraigada na cultura da Amazônia Brasileira. Todo ano no final da estação seca, agricultores e fazendeiros queimam suas terras para converter florestas em áreas de lavouras e pastagens, e/ou para controlar a proliferação de plantas invasoras. Justamente nesta época as florestas, cerrados, campos e plantios de culturas perenes da região estão mais susceptíveis ao fogo, e muitos desses ecossistemas pegam fogo acidentalmente. Além destas perdas diretas, o fogo libera fumaça que provoca doenças respiratórias, e emite gases para atmosfera que contribuem para o aquecimento global. O objetivo deste relatório é de apresentar uma primeira estimativa deste preço “oculto” dos fogos da Amazônia com o intuito de enriquecer o debate sobre o desenvolvimento da região.

As queimadas estão amplamente inseridas no processo produtivo da Amazônia e um dos elementos que impulsiona a expansão agrícola na região. O fogo é considerado um método barato para preparar a terra para o plantio de culturas e para a limpeza de pastagens, pois, as árvores derrubadas e queimadas produzem cinzas ricas em nutrientes que fertilizam o solo e, no curto prazo, aumentam sua produtividade. O fogo é usado, também, para estimular o crescimento de gramíneas forrageiras de pastagens e matar as plantas invasoras lenhosas que invadem estas pastagens. Sem o fogo, certamente os proprietários rurais teriam que investir na compra de máquinas pesadas para remover as árvores caídas e despende tempo roçando com facões as ervas daninhas que invadem as pastagens (Alencar *et al.*, 1997; Nepstad *et al.*, 1999a, 2001).

Existe assim uma racionalidade inerente ao uso do fogo na Amazônia semelhante àquela existente em outras florestas tropicais úmidas. Nesse sentido, a racionalidade do produtor face à restrição de recursos, tais como baixa oferta de mão de obra, baixa rentabilidade agrícola, inexistência de alternativas economicamente viáveis e baixa qualidade do solo para a agricultura podem explicar a utilização intensa do fogo nas atividades agropecuárias (Nepstad *et al.*, 1999a,b, 2001). Devido a todos esses fatores o processo de derrubada e queimada se tornou o instrumento predominante para o preparo do solo na região Amazônica, sobretudo em pequenas e médias propriedades (Homma *et al.*, 1993).

Paradoxalmente, o fogo também acarreta prejuízos para os fazendeiros e agricultores quando escapa ao controle, queimando aquilo que não era desejado. Esse risco do fogo sem controle desestimula os proprietários a investirem em suas propriedades, perpetuando o domínio da pecuária extensiva e da agricultura de corte e queima em detrimento do estabelecimento de sistemas agro-florestais e do manejo florestal sustentável (Nepstad *et al.*, 1999a, 2001).

A perda de pastagens pelas queimadas acidentais é um dos principais custos econômicos privados que atingem os proprietários rurais da Amazônia. A elevada inflamabilidade desse tipo de ecossistema afeta os fazendeiros na medida em que uma pastagem queimada acidentalmente obriga o proprietário a encontrar uma área de pastagem substituta para onde possa transferir seu rebanho bovino. O tempo de uso deste pasto substituto chega, em média, a três meses, tempo necessário para que o capim se recupere da ação do fogo (Alencar *et al.*, 1997; Nepstad *et al.*, 1999a, 2001).

Outros custos diretos significativos para o proprietário estão relacionados com a destruição de benfeitorias (principalmente as cercas), plantações e recursos madeireiros. No caso da queima de cercas o prejuízo pode variar da destruição completa das estacas e arame pelo fogo, ao aquecimento do arame, expondo-o a uma rápida deterioração pela

ferrugem. A danificação de cultivos perenes e árvores frutíferas pelos fogos acidentais causa também grandes perdas devido ao alto investimento necessário para estabelecer e manter essas culturas. As espécies madeireiras de valor comercial também são afetadas pelos incêndios florestais, podendo levar a perdas econômicas significativas, principalmente, quando a área queimada é uma floresta não explorada.

As queimadas e incêndios florestais na Amazônia causam, adicionalmente, outros custos e externalidades¹ negativas para a sociedade como um todo. Um dos principais efeitos é a liberação de grandes quantidades de carbono para a atmosfera como resultado da queima de biomassa vegetal. Este carbono, liberado principalmente na forma de gás carbônico, contribui para o aquecimento global através do efeito estufa.

A qualidade do ar de algumas regiões da Amazônia também é fortemente atingida durante a época das queimadas. Esta qualidade pode atingir níveis piores do que aquele registrado para o ar do centro urbano da cidade de São Paulo (Artaxo, <http://www.fapesp.br/projeto251.htm>). O elevado nível de material particulado no ar provocado pela fumaça afeta a saúde da população, aumentando o número de casos de pacientes com bronquite, asma e outras doenças respiratórias.

A fumaça ainda causa o fechamento dos aeroportos da região provocando prejuízos econômicos às empresas de aviação, que são obrigadas a cancelar ou atrasar os vôos, e aos passageiros que perdem negócios, e sofrem pelo desconforto da espera. O transporte terrestre também é afetado, pois a fumaça diminui a visibilidade e ocasiona acidentes de trânsito e perdas de vidas humanas.

A interrupção nas redes de energia é outro dos transtornos originados pela prática das queimadas agrícolas na Amazônia. Os prejuízos econômicos atingem às centrais elétricas da região que devem repor o equipamento danificado e ao consumidor final que fica sem fornecimento de energia, e pode ter seus eletrodomésticos danificados ou alimentos apodrecidos.

As queimadas e incêndios florestais também afetam o solo, o ciclo hidrológico, o sistema climático regional, e a biodiversidade. O fogo consome a vegetação, expondo o solo à força erosiva da chuva, provocando assoreamento dos rios, aumento do escoamento da água, e inundações (Nepstad et al. 1999a). A liberação de fumaça pelo fogo significa a exportação de nutrientes para atmosfera que pode levar a um eventual declínio da fertilidade do solo. A fumaça também tem o potencial de inibir a chuva (Rosenfeld, 1999). Ainda, o fogo tem ação direta sobre a biodiversidade amazônica, ocasionando a perda de populações de plantas e animais nativos. Os incêndios florestais danificam, também, as plantas medicinais, óleos, frutas e materiais de construção que as populações rurais da Amazônia aproveitam nas florestas nativas. Muitos destes custos sociais são de difícil quantificação física e monetária, uma vez que envolve serviços do ecossistema amazônico que não são negociados no mercado.

Embora vários prejuízos relacionados ao uso do fogo na Amazônia sejam de difícil quantificação, é de fundamental importância que a sociedade brasileira faça uma estimativa dos custos econômicos do fogo na Amazônia de modo a ter uma visão mais integrada do problema e suas ligações com o atual modelo de desenvolvimento da região. Com o corrente enfoque nas transações monetárias como medida principal da produção econômica da região, os prejuízos sofridos pela sociedade através da degradação ambiental são geralmente excluídos das análises e os benefícios econômicos

¹ Aumento ou diminuição de custo, sem que haja transação monetária envolvida.

do desenvolvimento passam a ser superestimados. Neste sentido, este estudo visa fornecer uma primeira estimativa dos custos econômicos da degradação ambiental provocada pelo uso do fogo. Para tanto, foram quantificados, em termos físicos e monetários, alguns dos principais custos para o período entre 1995 e 1999. Os itens de custo que foram estimados são aqueles para os quais existem dados disponíveis e confiáveis e foram discriminados nas seguintes categorias²:

- a) Custos para a produção agropecuária (anos 1996 a 1999);
- b) Custos por perdas florestais (anos 1995 e 1998);
- c) Custos associados à emissão de CO₂ (anos 1995 e 1998);
- d) Custos associados a danos à saúde humana (anos 1996 a 1999).

Os custos por perdas florestais (b) e emissão de CO₂ (c) foram estimados especificamente para os anos 1995 e 1998 devido ao fato de ter sido utilizadas metodologias e dados diferentes dos outros itens de custo analisados. Este procedimento permitiu comparar as perdas florestais e as emissões de CO₂ em anos com e sem a influência do fenômeno El Niño (1998 e 1995, respectivamente).

De acordo com a prática de valoração econômica, o exercício seguiu duas etapas: a estimativa do dano físico para cada categoria de custo analisada e o valor monetário do dano físico estimado. No que se refere aos danos impostos às atividades agropecuárias são identificados como custos do fogo acidental as perdas temporárias de pastejo e as perdas associadas com a destruição de cercas. Com relação aos danos florestais seus custos são valorados pela perda de madeira resultante dos incêndios florestais. Ambos os temas são objeto da seção seguinte. A Seção 3 trata da valoração do dano causado à sociedade resultante da liberação de CO₂, cujos custos são estimados a partir da mensuração das emissões estancadas advindas da queima da biomassa vegetal. Na Seção 4, os custos relativos à saúde humana são identificados pelo número de casos de morbidade devido a doenças do aparelho respiratório, estas provocadas pela fumaça originada pelas queimadas e incêndios florestais. Finalmente, na Seção 5, são apresentados os resultados consolidados desta pesquisa. Os Anexos 1, 2 e 3 tratam, respectivamente, da metodologia utilizada para obter a área anual atingida pelo fogo na região amazônica a partir das observações de satélite, dos métodos econométricos empregados e da estimativa da área de incêndios florestais.

2. CUSTOS DO FOGO PARA O PROPRIETÁRIO RURAL

O uso do fogo nas atividades agrícolas da Amazônia brasileira possui uma característica antagônica — é o “mal necessário”. Por um lado é um elemento fundamental no sistema produtivo da região e, simultaneamente, por outro, se não for bem manejado, age como uma força destrutiva que pode inviabilizar a produtividade do sistema.

As queimadas agrícolas estão relacionadas a um processo intencional do uso do fogo, ou seja, a prática da queimada é feita sempre com o propósito determinado de plantar lavouras ou controlar plantas invasoras em pastagens. Os incêndios (fogos

² Estudos na Indonésia (WRI, 2000) também realizam estimativas similares, conforme veremos na seção final.

acidentais) surgem a partir da perda de controle do processo da queimada, tendo como consequência o fato de que áreas previamente estabelecidas como fora do alcance do fogo sejam atingidas acidentalmente. Neste sentido, o fogo acidental pode queimar áreas já alteradas pela ação antrópica (pastagens, plantios, capoeiras) e florestas em pé. A premissa básica assumida é, portanto, que não existe motivo econômico para os proprietários queimarem suas florestas ou culturas e, portanto, estes incêndios sempre são acidentais.

As pesquisas apontam que somente 16% da área atingida pelo fogo na fronteira agrícola da Amazônia é decorrente do fogo colocado intencionalmente em derrubadas de floresta (áreas de desmatamento). O restante da área queimada na Amazônia é representado pelo fogo que atinge de forma intencional e acidental pastagens e áreas agrícolas, e pelo fogo acidental que afeta as florestas da região (Nepstad *et al.*, 1999a).

A partir deste diagnóstico dos fogos na Amazônia, derivam-se dois conceitos fundamentais: o fogo intencional e o fogo acidental (Alencar *et al.*, 1997; Nepstad *et al.*, 1999a). O fogo acidental é, de fato, aquele que deve servir de base para avaliação dos danos privados do proprietário rural, pois, o fogo quando intencional é um instrumento que beneficia o agricultor ao reduzir seus custos de produção³. Naturalmente, a área de fogo total (área total queimada) é a soma das áreas de fogo intencional e acidental.

A estimativa do dano físico à propriedade rural pelo uso do fogo depende, portanto, da área anual atingida pelos fogos acidentais (incêndios) na Amazônia, por categoria de uso do solo, multiplicado pelo dano médio por unidade de área do incêndio. A seguir são apresentadas estimativas das perdas agropecuárias e florestais provocadas pela ação do fogo acidental durante o período de 1996 a 1999.

2.1. Perdas Agropecuárias

São diversos os danos causados pelo fogo na produção agropecuária. Estes abrangem desde a queima acidental de áreas de pastagens e lavouras, até a destruição de benfeitorias como casas, cercas e equipamentos. No entanto, as pesquisas revelam que, em aproximadamente 85% das propriedades rurais a presença de fogo acidental em áreas de abertura⁴ incidem fundamentalmente sobre a pastagem, danificando cercas e reduzindo a capacidade de pastejo (Alencar *et al.*, 1997; Nepstad *et al.*, 1999a). Assim, no presente estudo as perdas agropecuárias são representadas pelas áreas de pastagem e cercas queimadas acidentalmente, lembrando que o fogo acidental em áreas de pastagens consome forragem durante alguns meses, reduzindo a capacidade daquela pastagem em suportar animais. Essas áreas foram inferidas a partir das observações da área total queimada (fogo total), estimada em 2001 por Alberto Setzer do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e pelo Woods Hole Research Center (WHRC), para o período 1996-1999 (ver Anexo 1). A metodologia utilizada por estes autores baseou-se na transformação dos dados de focos de calor registrados pelo satélite NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration) em área queimada⁵. Esta abordagem permitiu calcular de maneira agregada a área total queimada, sem especificar o tipo de cobertura vegetal atingida pelo fogo.

³Os danos causados pelo fogo que atingem à sociedade como um todo, como por exemplo, a liberação de fumaça para atmosfera, são originados tanto pelos fogos acidentais quanto pelos fogos intencionais.

⁴O termo abertura é usado para identificar diversos tipos de ecossistemas antrópicos como pastagem, capoeira (floresta secundária) e cultivo.

⁵A metodologia usada pelo Setzer do INPE e WHRC para calcular a área queimada esta descrita no Anexo I.

Assumiu-se que as áreas de pastagem e cercas afetadas pelo fogo acidental variam em função da área total queimada. Esta inferência pôde ser realizada a partir da pesquisa de campo feita entre 1994/1995 pelo Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia – IPAM (Alencar *et al.*, 1997; Nepstad *et al.*, 1999a, 2001), onde constam dados de área queimada (acidental e intencional) por tipo de uso do solo e de extensão de cerca perdida. O estudo do IPAM abrangeu 202 propriedades dispersas entre cinco municípios (Figura 1), distribuídos ao longo do Arco de Desmatamento, sendo eles: Paragominas (A), Santana do Araguaia (B), Alta Floresta (C), Ariquemes (D) e Rio Branco (E).

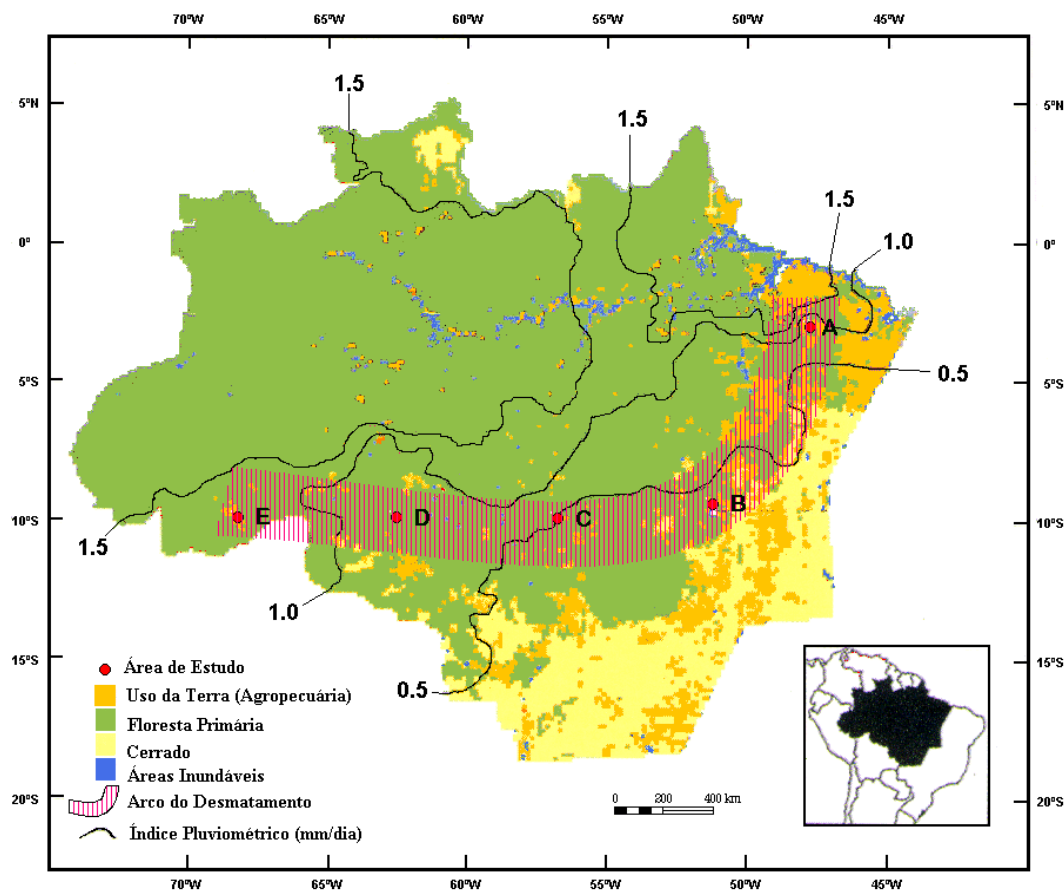


Figura 1. Localização geográfica dos municípios amazônicos estudados pelo IPAM nos quais foram coletados os dados de campo que embasaram várias análises apresentadas neste relatório.

As propriedades estudadas foram classificadas pelo seu tamanho em pequena (<100 ha), média (100-1000 ha), média-grande (1000-5000 ha) e grande (>5000 ha). As propriedades foram escolhidas de maneira aleatória dentro de cada município. Nesta pesquisa também foram levantados dados sobre as características econômicas das propriedades como o tipo de uso do solo e os investimentos físicos em aceiro. Todavia, estas variáveis não apresentam variação nos anos de abrangência (1994-95) da pesquisa.

Estes municípios constituem uma amostra representativa dos diversos tipos de estrutura fundiária existentes na região, desde projetos de colonização em Ariquemes até mega-fazendas em Santana do Araguaia. Com relação às informações contidas nesse estudo, além das características do informante e da propriedade, constam também: (i) as áreas queimadas classificadas por fogo intencional e acidental em relação às áreas de

floresta e pastagem (ii) a extensão de cerca perdida para cada propriedade, e (iii) investimentos em aceiro.

2.1.1. Modelos Econométricos

Com o emprego da análise econométrica foi possível estimar uma relação entre as áreas de pastagens e a extensão de cerca que foram afetadas pelo fogo acidental em função da área total queimada. Uma vez estimada esta relação, foi factível então definir os parâmetros que, multiplicados pela variação anual da área total queimada⁶, serviram para determinar a quantidade de pastagem e de cerca perdida pela ocorrência de fogo acidental. Em termos mais formais, estas estimativas de perda foram calculadas, com base nos dados da pesquisa elaborada pelo IPAM, a partir das seguintes equações:

$$S_{Ait} = f_1 (S_{it}, Z_{it}) \quad (1)$$

$$D_{it} = f_2 (S_{it}, Z_{it}) \quad (2)$$

Onde:

- S_{Ait} é a área de pastagem queimada acidentalmente na propriedade i no tempo t;
- S_{it} é área total queimada ou fogo total (intencional mais acidental) na propriedade i no tempo t;
- Z_{it} é um vetor de variáveis que contribuem para explicar a incidência de fogo acidental associado à propriedade i no tempo t;
- D_{it} é a perda de cerca na propriedade i no tempo t.

As variáveis explanatórias Z_{it} incluídas na equação foram tamanho da propriedade e investimento físico em aceiro⁷. Desta forma, esperou-se que quanto maior o fogo total (área total queimada), maior o fogo acidental. Assumiu-se também que quanto maior fosse o tamanho da propriedade maior seria a área total queimada, mas não é possível indicar *a priori* o sinal em relação ao fogo acidental. No caso do investimento em aceiro é plausível assumir que quanto maior sua extensão menor o avanço do fogo acidental.

Uma vez tendo-se estimado a relação entre as variáveis (equação 1) calculou-se a perda anual de área de pastagem devido ao fogo acidental no período 1996-1999 da seguinte forma:

$$b_j = \frac{\partial f_1}{\partial S} \quad (3)$$

$$S_{At} = b_j \Delta S_t \quad (4)$$

⁶ Estimativa do INPE & WHRC no Anexo 1.

⁷ Na base de dados do IPAM somente a variável fogo total (área queimada total) varia tanto entre as unidades individuais (propriedades) como no tempo (1994 e 1995). As outras variáveis da base de dados (tamanho da propriedade, investimento físico em aceiro, tipo de uso do solo) unicamente apresentam variação entre as unidades individuais e não no tempo.

Onde:

b_j é o parâmetro estimado para perda accidental de área de pastagem relativo à área total queimada;

$\frac{\partial f_1}{\partial S}$ é a derivada (variação) de f_1 em relação à área total queimada (S);

S_{At} é a estimativa da área de pastagem queimada acidentalmente para um dado ano t

ΔS_t é a área total queimada na região amazônica em um dado ano t.

Da mesma forma, a partir da equação (2) foi possível determinar as quantidades análogas para perda de cercas. Elas foram definidas a partir das seguintes expressões:

$$d = \frac{\partial f_2}{\partial S} \quad (5)$$

$$D_t = d \Delta S_t \quad (6)$$

Onde:

d representa o parâmetro estimado para perda de cerca relativo à área total queimada;

$\frac{\partial f_2}{\partial S}$ representa a derivada (variação) de f_2 em relação à área total queimada;

D_t é a perda estimada de cerca em um dado ano t;

ΔS_t é a área total queimada na região amazônica em um dado ano t.

No caso da perda de pastagem por fogo accidental foram utilizados modelos econométricos alternativos com o intuito de testar as possíveis correlações das variáveis que poderiam influenciar, além da extensão do fogo total, na área de pastagem atingida por fogo accidental. Os modelos adotados foram: (i) técnica de mínimos quadrados ordinários (MQO); (ii) técnica de painel efeito aleatório e; (iii) técnica de painel efeito fixo. Na técnica MQO utilizaram-se todos os dados como se fossem referentes apenas a um ano, enquanto na técnica de painel diferenciaram-se os dados nos dois anos de observações. No efeito aleatório assumiu-se que, diferentemente do efeito fixo, os estimadores da regressão não foram influenciados pelas características específicas da propriedade. A metodologia para dados de painel é apresentada no Anexo 2.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados econométricos para os modelos que correlacionam fogo accidental em áreas de pastagem (variável dependente) e suas variáveis explicativas fogo total, tamanho da propriedade e investimento físico em aceiro (variáveis independentes). Neste caso, somente a variável “fogo total” pôde ser considerada estatisticamente significativa para explicar “fogo accidental” nas áreas de pastagens. As variáveis “tamanho da propriedade” e “investimento físico em aceiro” foram rejeitadas como explicativas. Isto implica que o fogo accidental, de acordo as informações observadas na base de dados do IPAM, é influenciado somente pela extensão do fogo total (área total queimada).

Os coeficientes estimados para fogo total são muito próximos em todos os modelos de regressão testados. Entretanto, os resultados das regressões sugerem que o modelo de painel de efeito aleatório é o mais adequado para estimar a área de pastagem queimada por fogo accidental. O estimador do fogo accidental em pastagens em relação a

fogo total, expressão (3), estaria em torno de 0,45. Todavia, devido à contribuição quase isolada da variável fogo total, o uso de modelos econométricos neste caso adicionou muito pouco em relação a uma inferência não-paramétrica. Quando se calcula uma simples relação média entre fogo acidental em pastagens e fogo total, com as observações da base de dados do IPAM, obtêm-se valores muito próximos àqueles estimados com as técnicas econométricas.

Tabela 1. Coeficientes das regressões entre as variáveis independentes e a área de fogo acidental em pastagens de propriedades da Amazônia brasileira, 1994 e 1995.

Variável Dependente	Fogo Acidental em Áreas de Pastagens				
	MQO		Painel Efeito Aleatório	Painel Efeito Aleatório	Painel Efeito Fixo
Fogo total	0,4296* (0,000)	0,4221* (0,000)	0,4381* (0,000)	0,447* (0,000)	0,4648* (0,000)
Tamanho da Propriedade	-0,0017 (0,347)	–	-0,0015 (0,332)	–	–
Aceiro	0,0002 (0,761)	–	0,0003 (0,112)	–	–
Constante	-13,672** (0,083)	-15,607* (0,015)	-17,346* (0,075)	18,333** (0,057)	-22,1232* (0,007)
N. de observações	396	396	396	396	396
R ²	0,51	0,51	0,50	0,50	0,42
RHO	–	–	0,446	0,461	0,577
Teste de Hausman	–	–	0,80 (0,672)	0,29 (0,5883)	–
Teste de Breusch-Pagan	–	–	8,04* (0,005)	8,56* (0,0034)	–

*Os resultados acima indicam os valores encontrados para os coeficientes das variáveis explicativas. Ou seja, a proporção na qual a variável, em relação à magnitude da sua medida, influencia a variável fogo acidental. Apenas a variável independente fogo total pode explicar a variação da área de fogo acidental. Os valores entre parênteses são as estatísticas de significância das variáveis (probabilidade de ser igual a zero). As variáveis que são estatisticamente significativas para explicar fogo acidental em pastagens estão marcadas com notações * (menos que 5% de probabilidade) e ** (menos que 10% de probabilidade). Na primeira coluna de cada modelo estão os resultados para o modelo completo e na segunda coluna somente os relativos as variáveis que se apresentaram significativas (exceto no caso de efeito fixo que depende somente de uma variável).*

Os valores de R² para MQO e seu valor ajustado para os modelos de painel⁸ são indicativos de um bom ajuste tratando-se de regressões “cross section”. Nos modelos de painel os valores de RHO⁹ obtidos são altos indicando que a presença do componente individual não deve ser descartada. O teste de Breusch-Pagan, cuja hipótese testada é que a variância do componente individual é zero, indica uma alta probabilidade confirmando a importância do componente individual. Por fim, o teste de Hausman indica que não se pode rejeitar a hipótese nula de que os regressores e o componente aleatório individual sejam não correlacionados. Dessa forma, as regressões anteriores mostram que o modelo de painel de efeito aleatório é o mais indicado para estimar a área de pastagem queimada acidentalmente.

Na correlação de extensão de cerca perdida pelo fogo acidental, dada pela expressão (2), foi adotado o modelo de MQO. Diferentemente do caso anterior, não se

⁸A medida R² avalia o ajuste dos modelos indicando a porcentagem da variação da variável dependente que é explicada pelas variáveis independentes.

⁹A medida RHO indica a razão entre a variância estimada do componente individual em relação a variância total estimada do resíduo.

utilizou modelo de painel uma vez que o valor da perda de cerca encontrado na pesquisa realizada pelo IPAM (Alencar *et al.*, 1997) estava disponível apenas para um ano. Nesta regressão aparecem como variáveis explicativas, além do fogo total, o tamanho da propriedade e o investimento físico em aceiro. Os resultados deste modelo são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Coeficientes das regressões entre as variáveis independentes e a extensão de cerca perdida por fogo acidental em propriedades da Amazônia brasileira, 1994 e 1995.

Variável Dependente	Extensão de Cerca Perdida	
	Coefficiente	P
Fogo total	10,3578	0,000
Tamanho da Propriedade	-0,3480	0,000
Aceiro	0,0357	0,000
Constante	-309,71	0,444
N. de observações	200	-
R ²	0,73	-

Acima são apresentados os valores dos coeficientes das variáveis explanatórias para cerca perdida por fogo acidental.

Tal como esperado, a área total queimada aumenta o impacto do fogo acidental sobre a perda de cerca. O coeficiente negativo da variável tamanho da propriedade indica que existe uma tendência maior de perda de cerca em pequenas propriedades se comparadas com as grandes propriedades. Já nos investimentos em aceiro, os resultados indicam que um maior volume de investimento aumenta a destruição de cercas por fogo acidental¹⁰. De qualquer forma, a importância do fogo total é dominante e seu estimador será usado para aplicar a expressão (5) e, posteriormente, estimar a extensão anual das perdas de cercas mediante a expressão (6) no período 1996-1999.

2.1.2. Estimativa Física das Áreas de Pastagem e de Cerca Atingidas por Fogo Acidental

A área anual de pastagem afetada pelo fogo acidental foi obtida através da equação (4), multiplicando o coeficiente estimado de fogo total (Tabela 1) pela área total queimada calculada pelo INPE & WHRC para o período 1996-1999. De acordo com esta metodologia, as perdas temporárias de pastagem na Amazônia brasileira pela ação do fogo acidental variaram entre 6.510 km² em 1996 e 19.408 km² em 1998 (Figura 2). Na média, cerca de 13.000 km² de pastagem queimam anualmente na região, isto é, 2% da área total desmatada. Cada proprietário rural perde, em média, 1,5 hectare de pastagem por fogo acidental na Amazônia brasileira¹¹.

A extensão de cerca perdida pelo fogo acidental foi estimada mediante a expressão (6), utilizando o coeficiente de fogo total calculado no modelo de MQO (Tabela 2) e a área total queimada do INPE & WHRC. Na Figura 3, observa-se que a

¹⁰Neste caso pode estar havendo um problema de simultaneidade que a especificação do modelo econométrico não captura, quando os investimentos em aceiro são realizados geralmente em propriedades que apresentam maior probabilidade de fogo acidental.

¹¹ Foram 893 mil estabelecimentos rurais cadastrados pelo Censo Agropecuário realizado entre 1995 e 1996.

destruição de cercas oscilou de 15.329 a 45.698 km, entre 1996 e 1998, respectivamente, seguindo a mesma tendência da área de pastagem queimada. Na média anual, a extensão de cerca perdida na Amazônia brasileira ultrapassou os 30 mil quilômetros, isto significa, que cada proprietário rural perde aproximadamente 36 metros de cerca anualmente.

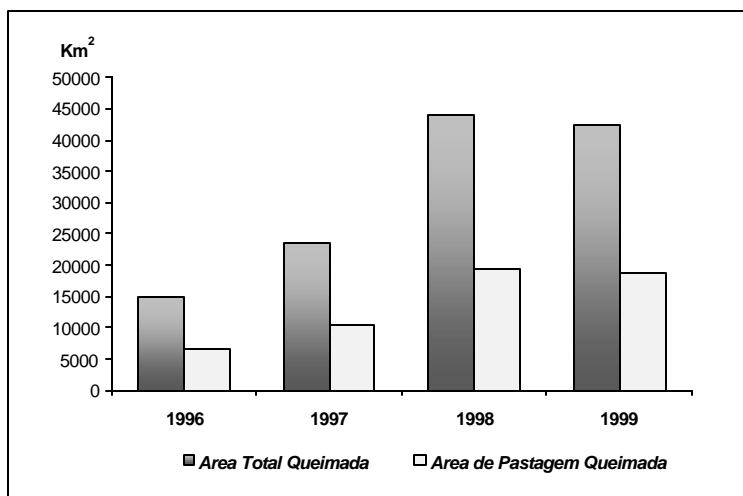


Figura 2. Área Total queimada e área de pastagem queimada por fogo acidental na Amazônia brasileira, 1996-1999.

Conforme a metodologia aplicada neste estudo, a área de pastagem atingida pelo fogo acidental representa 45% da área total queimada anualmente na Amazônia brasileira. Neste tipo de paisagem, que é dominado por gramíneas e plantas herbáceas e, portanto, mais inflamável, o fogo se propaga rapidamente.

Nos últimos dois anos do período analisado, as áreas de pastagem e a extensão cercas queimadas foram significativamente maiores ultrapassando os 18 mil km² e 43 mil km, respectivamente. Esta situação esteve associada ao prolongamento da seca em função da ocorrência do fenômeno climático El Niño e, conseqüentemente, do menor controle sobre o fogo. Neste mesmo período, a Indonésia foi também atingida pela estiagem e uma área estimada de 9,7 milhões de hectares foi queimada, principalmente na região de Kalimantan¹², dos quais 4,7 milhões de hectares abrigavam atividades agrícolas (BAPPENAS & ADB, 1999; Barber & Schweithelm, 2000).

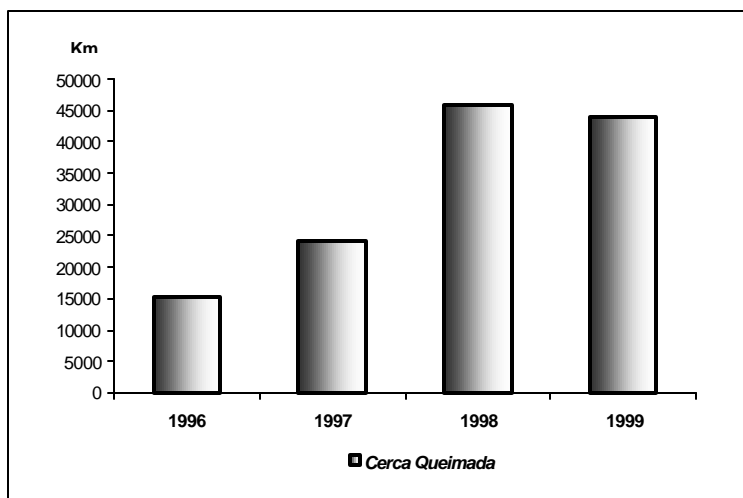


Figura 3. Extensão de cerca queimada por fogo acidental na Amazônia brasileira, 1996-1999.

O dano imposto pelo fogo acidental às cercas constitui um dos principais prejuízos para os produtores rurais da Amazônia brasileira. À medida que aumenta o tamanho da propriedade as perdas pela destruição de cercas se incrementam, pois, são os grandes proprietários os possuidores das maiores extensões de cerca (Nepstad et al., 1999a).

¹² 67% da área total queimada na Indonésia ocorreu na região de Kalimantan (Barber & Schweithelm, 2000).

2.1.3. Valor Monetário das Perdas Agropecuárias

Uma vez estimadas as áreas de pastagem e a extensão de cercas que sofrem a ação do fogo acidental a cada ano do período 1996-1999, foram atribuídos valores monetários de modo a avaliar as perdas econômicas de produção agropecuária. Para tal efeito, procedeu-se da seguinte forma:

- a) As perdas de produção por pastagem queimada foram valoradas pelo preço do arrendamento de áreas de pastagem. Assumiu-se que o aluguel de outra área por um período de três meses, tempo este necessário para que a pastagem queimada ser recomponha, representa o custo incorrido pelo pecuarista em caso de fogo acidental em suas terras.
- b) As perdas de cercas foram calculadas com base no custo do material e da mão de obra utilizada na sua construção.

As informações sobre o preço de arrendamento de áreas de pastagem para cada Estado da região Amazônica foram obtidas da Fundação Getúlio Vargas (FGV, <http://www.fgv.br>), referentes ao mês de dezembro¹³. Os valores do preço de arrendamento variam, por exemplo, para o ano 1998, o aluguel anual de um hectare de pasto no Estado de Tocantins foi de R\$37,00 ha/ano enquanto no Estado do Amazonas, este valor foi de R\$89,00 ha/ano. Neste estudo, utilizou-se o aluguel de pastagem na região amazônica para um período de três meses calculado a partir dos dados da FGV.

O custo da cerca perdida integralmente foi obtido da pesquisa de campo do IPAM (Alencar *et al.*, 1997; Nepstad *et al.*, 1999a) para o qual estimou-se um valor médio de US\$ 1.400/km. O custo da danificação parcial da cerca pela destruição do arame foi estimado em US\$ 300/km. Os dados da pesquisa do IPAM não permitiram identificar a proporção da cerca perdida integral e parcialmente. Deste modo, foram estabelecidos dois intervalos de danos: máximo, assumindo o valor da perda total de cerca, e mínimo, usando o valor da perda parcial (aramé)¹⁴.

Os resultados das estimativas do dano econômico no setor agropecuário são apresentados na Tabela 3. Durante o período de 1996-1999, as perdas econômicas por queimadas acidentais na produção agropecuária da Amazônia brasileira foram estimadas em US\$ 108 a 272 milhões. A região perdeu, em média, entre US\$ 27 e US\$ 68 milhões anuais devido ao fogo acidental, sendo US\$ 17 milhões de prejuízo anual pela queima acidental de pastagem e US\$ 10 a 51 milhões pela danificação de cercas.

Os danos econômicos estão distribuídos da seguinte maneira: 62% para pastagem queimada acidentalmente e 38% para destruição de cercas (considerando só a perda de arame). De acordo com as estimativas anteriores, cada propriedade rural teria prejuízos anuais médios entre US\$ 30 e 76 pela ação do fogo acidental¹⁵. Não foi possível estimar o dano monetário diferenciado para pequenas, médias e grandes propriedades, pelo fato de não conhecer o quanto de dano incide por cada categoria de tamanho.

¹³ Utilizaram-se dados do mês de junho quando dezembro não estava disponível.

¹⁴ Presume-se que os preços permanecem constantes e, portanto, servem para este exercício. Isto é, não foram consideradas as alterações na demanda via alteração de preços e, portanto, não há variações do excedente do consumidor.

¹⁵ Valor médio calculado dividindo o valor do prejuízo total pelo número de estabelecimentos agropecuários da Amazônia (IBGE, Censo Agropecuário, 1996).

Tabela 3. Perdas econômicas na produção agropecuária por fogo accidental, 1996-1999.

Ano	Perda de Pastagem		Perda de Cerca		Total de Perdas Agropecuárias		
	Km2	US\$ Milhões	Km	US\$ Milhões		US\$ Milhões	
				Mínimo*	Máximo**	Mínimo	Máximo
1996	6.510	7,5	15.329	4,9	24,3	12,4	31,8
1997	10.275	14,5	24.194	7,8	38,3	22,3	52,8
1998	19.408	24,5	45.698	14,7	72,4	39,2	96,9
1999	18.649	20,5	43.910	14,0	69,6	34,5	90,1
Total	54.842	67,0	129.131	41,4	204,6	108,4	271,6
Media	13.711	16,8	32.283	10,4	51,2	27,1	67,9

* Cálculo baseado no valor da perda do arame. ** Estimativa baseada no valor da cerca perdida integralmente
As perdas monetárias são expressas em dólares de 1998.

Nota-se que os dados monetários nos anos de 1998 e 1999 mostram um crescimento abrupto em relação ao período 1996/97, mas isto se deve as variações de área queimada que, nestes anos, foi fortemente influenciada pelo período de seca prolongada. No biênio 1998/99 o prejuízo econômico ultrapassou US\$ 180 milhões¹⁶, este valor corresponde a 69% das perdas totais do período.

Neste estudo, os prejuízos econômicos causados pelo fogo na agropecuária podem ser considerados conservadores, uma vez que existem custos adicionais que não foram contabilizados pela limitação dos dados, tais como: a destruição de plantações de lavouras permanentes e temporárias e a danificação de construções e equipamentos. De outro lado, as estimativas podem exagerar as perdas na agropecuária na maneira em que pastagens queimadas acidentalmente não implicavam no arrendamento de outras pastagens, que seria o caso dos fazendeiros e agricultores que tinham rebanhos menores do que a capacidade de suporte das suas pastagens.

2.2. Perdas Florestais

Nos últimos quinze anos a freqüência de incêndios florestais vem aumentando vertiginosamente na Amazônia brasileira como conseqüência da interação entre três fatores principais: (i) o aumento do número de fontes de ignição através da expansão da fronteira agrícola; (ii) o aumento da susceptibilidade da floresta ao fogo devido à expansão da exploração madeireira e; (iii) o aumento da susceptibilidade da floresta ao fogo devido a períodos de seca associados com eventos de El Niño (Nepstad *et al.*, 1999 a,b). Os incêndios florestais são a grande novidade no regime de fogo na região. No entanto, são poucas as informações básicas sobre este fenômeno.

Embora a área florestal que sofre corte raso – o chamado desmatamento – seja estimada anualmente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2000), em nenhum ano foi elaborado um mapeamento com satélite da área de floresta em pé afetada pelo fogo. Isto se deve ao fato de que as “cicatrices” de incêndios florestais são difíceis de serem mapeadas nas imagens de satélite, pois muitas árvores adultas sobrevivem ao incêndio, escondendo em parte os danos sofridos pela vegetação. Neste estudo são apresentados dados inéditos que visam estimar a área florestal atingida por incêndios em anos de precipitação média e anos de precipitação baixa (sob influencia do

¹⁶ Conforme a estimativa máxima.

El Niño), objetivando valorar o prejuízo econômico para o proprietário rural decorrente da perda de madeira de valor comercial.

2.2.1. Área de Floresta Atingida por Incêndios

As florestas da Amazônia se tornam susceptíveis ao fogo tanto pela falta de chuva quanto pelos danos sofridos pela exploração madeireira. Os fazendeiros e agricultores agem com as fontes principais de ignição destas florestas inflamáveis. Por estes motivos, as florestas que pegam fogo na Amazônia estão concentradas nas paisagens que apresentam períodos de secas pronunciada e onde há exploração madeireira e pecuária. Tais paisagens encontram-se no leste e no sul da região (veja Anexo 3). Estas relações foram a base para se chegar a uma estimativa preliminar da área florestal afetada pelos incêndios.

Utilizou-se a relação espacial entre áreas desmatadas (pastagem, lavoura e floresta secundária) e incêndios florestais medida em três regiões da Amazônia como base da estimativa da área de incêndio florestal. Entrevistas de campo em cada região facilitaram a identificação de cicatrizes de incêndio florestal em imagens de satélite Landsat; essas cicatrizes são fáceis de confundir com outros componentes da paisagem. A relação entre áreas desmatadas e incêndio florestal foi definida usando imagens de Landsat de 1995 e 1998, representando anos de chuva normal (1995) e baixa (1998). A relação encontrada entre a área desmatada e o incêndio florestal foi aplicada sobre um mapa de desmatamento da Amazônia brasileira construído a partir das imagens disponibilizadas por Michigan State University para o ano 1992 (Skole & Chomentowski, <http://www.bsrsi.msu.edu/trfic/index.html>), o qual foi estratificado pelo nível de precipitação, isto é, milímetros de chuva diária média na estação seca e tipo de vegetação (Figura 4). Sobrevãos realizados em 1998 (Nepstad & Moutinho, dados não publicados, 1998) permitiram a validação das estimativas para o ano 1998. A metodologia utilizada está descrita no Anexo 3.

Esta abordagem permitiu estimar áreas de floresta afetadas pelo fogo acidental localizadas ao longo do “arco de desmatamento” onde se concentram as queimadas agrícolas e em decorrência os incêndios florestais. Na Figura 4 pode ser observada a área de floresta estratificada conforme os parâmetros mencionados, na qual aplicou-se a relação espacial entre áreas desmatadas e incêndios florestais em anos com e sem eventos de El Niño.

Na Tabela 4 são apresentadas as estimativas de áreas com ocorrência de incêndio florestal para anos com e sem a influência do fenômeno El Niño. A área total de floresta analisada foi de 235 mil km² considerando três tipos de vegetação: ombrófila densa, ombrófila aberta e floresta de contato.

No ano 1998 sob a influência do fenômeno El Niño, a área de incêndio florestal foi estimada em 26 mil km². Acrescentando os incêndios florestais de Roraima, onde 13.000 km² de floresta foram queimados entre dezembro de 1997 e março de 1998 (Barbosa & Fearnside, 2000), este total sobe para 39 mil km². Neste caso a floresta ombrófila densa foi a mais atingida pela ação do fogo acidental com uma contribuição de 58% do total da floresta queimada. No ano 1995 sem a influência do El Niño a área de floresta afetada pelo fogo foi calculada em 1,8 mil km², queimando, principalmente, áreas de floresta de contato (84%).

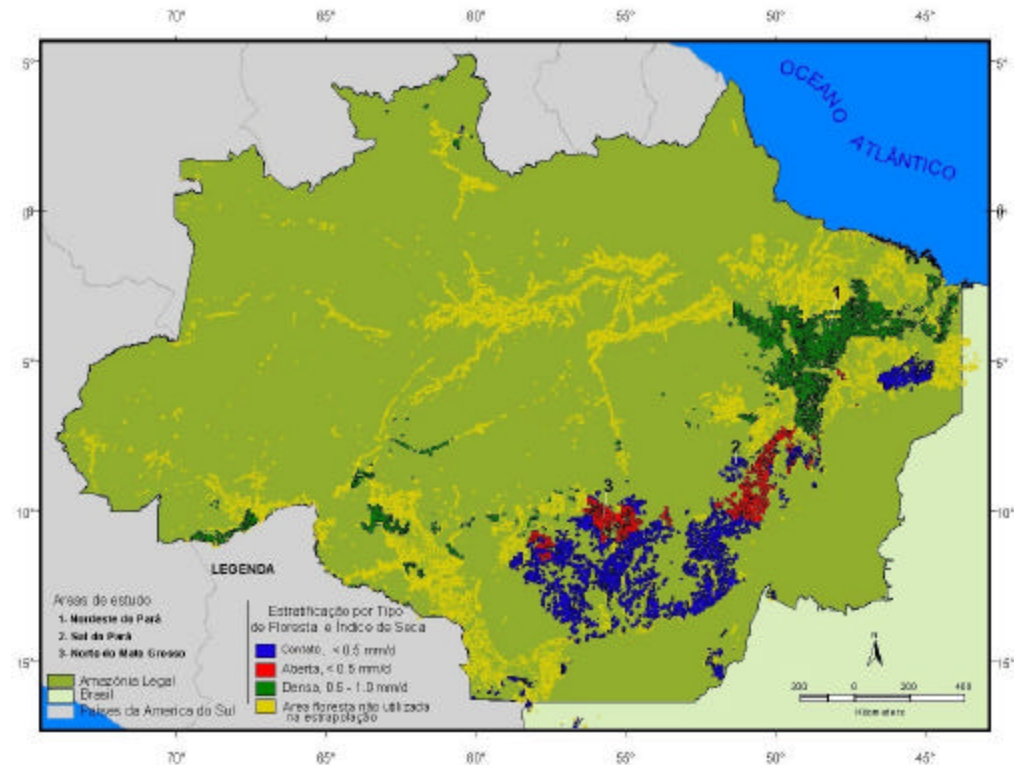


Figura 4. Áreas florestais da Amazônia brasileira estratificadas pelo tipo de vegetação e nível de precipitação, usadas para embasar a estimativa da área afetada pelo incêndio florestal em anos com e sem a influência do El Niño.

Tabela 4. Área total de florestas atingida por incêndios na Amazônia brasileira.

Tipos de Floresta	Chuva mm/dia*	Área Total de Floresta (km ²)	Área de Incêndio Florestal (km ²)	
			Ano El Niño (1998)	Ano sem El Niño (1995)
Ombrofila Densa	0.5 – 1.0	94.500	15.200	100
Ombrofila Aberta	< 0.5	30.100	1.100	200
De Contato	< 0.5	111.000	9.900	1.500
Total		235.600	26.200	1.800
Área de Incêndio de Roraima		-	13.000	-
Total com Incêndio de Roraima		-	39.200	1.800

A metodologia deste cálculo é apresentada no Anexo 3.

* Medições relativas ao trimestre mais seco

2.2.2. Valor Monetário

Neste estudo, os prejuízos econômicos causados por incêndios florestais foram estimados levando-se em consideração o preço das árvores com valor de mercado que foram mortas e destruídas pelo fogo. A vulnerabilidade de uma árvore ao fogo depende, principalmente, da grossura de sua casca. A maioria das árvores que morrem após um incêndio florestal é jovem com troncos apresentam casca de fina espessura, embora, árvores maiores de casca fina também perecem (Uhl & Kaufmann, 1990). São essas

árvores adultas as que possuem maior valor econômico e sua morte gera prejuízos para os proprietários rurais pela diminuição do estoque madeireiro que poderia ser comercializado.

Holdsworth (dados não publicados, 2000) estimou a perda de árvores adultas com valor de mercado após ocorrência de fogo em uma floresta já explorada na região de Paragominas. O valor em tora das árvores adultas mortas pelo incêndio ficou em torno de US\$ 5/hectare. Este resultado foi obtido multiplicando-se a mortalidade de árvores de valor comercial após fogo florestal pelo preço que as serrarias pagariam aos fazendeiros por cada espécie em pé na mata. O valor pago foi maior para aquelas árvores retiradas de uma floresta que não tenha sofrido exploração madeireira antes da ocorrência do fogo e menor em áreas florestais distantes do mercado.

Os prejuízos econômicos associados com a perda de madeira comercializável foram estimados multiplicando a área total atingida pelo incêndio florestal (anos com El Niño e anos sem El Niño) pela perda por hectare estimada em Paragominas (US\$ 5/ha). No ano 1998 caracterizado pela seca severa devido ao fenômeno El Niño o prejuízo monetário ultrapassou os US\$ 13 milhões. No ano 1995 sem a influência do El Niño as perdas monetárias por incêndios florestais alcançaram, aproximadamente, um milhão de dólares (Figura 5). Estas estimativas são conservadoras, pois, subestimam a perda de madeira em florestas primárias (não exploradas) após incêndios. Por outro lado, também existe um viés de superestimativa para aqueles incêndios que atingem florestas distantes do mercado e, portanto, economicamente inviáveis para exploração pela indústria madeireira.

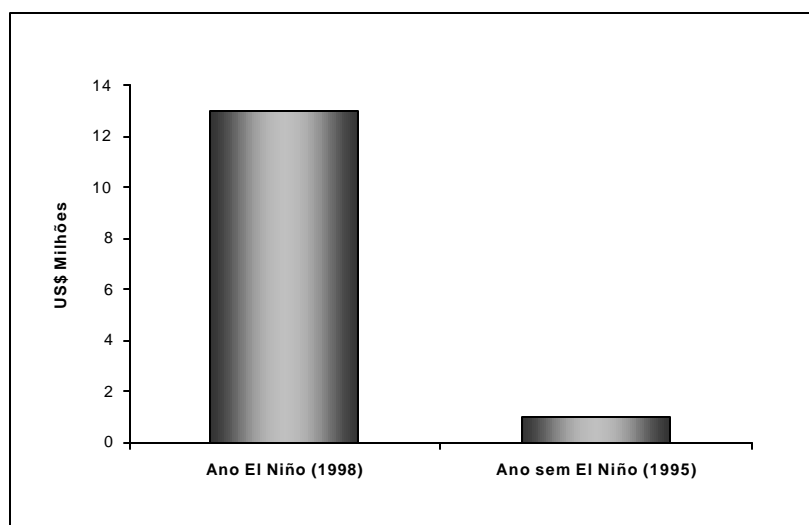


Figura 5. Perdas econômicas pela destruição de madeira por incêndios florestais na Amazônia Brasileira.

Neste estudo, os danos econômicos derivados de incêndios florestais foram valorados, exclusivamente, pela perda de madeira comercializável, excluindo outros custos adicionais como são as perdas de produtos não madeireiros (castanhas, cipós, óleos e plantas medicinais) que, tradicionalmente, são extraídos da floresta e vendidos no mercado pelos produtores rurais se constituindo em uma parcela de sua renda. Além disso, não foi considerada a eliminação de fauna, o valor dos serviços ecológicos da

floresta em pé para a manutenção do ciclo hidrológico e do sistema climático regional, assim como valores éticos e culturais que são mais difíceis de serem quantificados em termos econômicos.

3. EXTERNALIDADES DO FOGO PARA A SOCIEDADE

O uso do fogo no sistema produtivo da Amazônia gera externalidades para a sociedade como um todo. Os principais danos identificados são a emissão de gases para a atmosfera e as doenças respiratórias provocadas pela fumaça. Outros prejuízos são o fechamento de aeroportos, interrupção nas redes de energia e acidentes de trânsito pela falta de visibilidade nas estradas. Estas externalidades negativas são causadas tanto pelo fogo intencional (queimadas agrícolas) quanto pelo fogo acidental. Devido à limitação de informações, este estudo focalizou-se nos prejuízos do fogo pela liberação de CO₂ para atmosfera e por danos provocados à saúde humana na forma de doenças respiratórias.

3.1. Emissões de CO₂

A crescente emissão de gases de efeito estufa (GEE)¹⁷, principalmente, de dióxido de carbono (CO₂), pelas atividades humanas vem provocando um aumento da temperatura do planeta que deve crescer no futuro. Dos 8,3 bilhões de toneladas de carbono emitido para atmosfera pela ação antrópica cada ano, a maior parte (6,3 bilhões de toneladas por ano) é produzido pela queima de combustíveis fósseis e, aproximadamente, dois bilhões de toneladas pelo desmatamento de florestas tropicais. O fogo, que é usado como ferramenta na conversão de florestais tropicais em áreas agrícolas, contribui para esta emissão de carbono para a atmosfera e para os prejuízos econômicos causados por ela.

Na Amazônia brasileira, o desmatamento provoca a emissão de aproximadamente 200 milhões de toneladas de carbono para atmosfera cada ano (Houghton *et al.*, 2000), o que representa 2,5% da emissão global de carbono. No presente estudo, não foi incluída a emissão de carbono proveniente do desmatamento, já que o papel do fogo no desmatamento serve principalmente para acelerar a emissão do carbono contido na biomassa da floresta, mas não é imprescindível para esta emissão acontecer.

Porém, existe uma outra forma de emissão de carbono das florestas da Amazônia que depende estreitamente do fogo, que é o carbono liberado pelos incêndios florestais. O fogo, portanto, será dado exclusivamente na estimativa das emissões de CO₂ na Amazônia brasileira oriundas de incêndios florestais, tanto em anos sob efeito do El Niño como naqueles considerados normais em termos climatológicos. Desta forma, busca-se também valorar, em termos monetários, os prejuízos desta externalidade do fogo para a sociedade como um todo.

¹⁷ Outros GEE que contribuem para a alteração do clima do planeta são: metano (CH₄), gases do tipo CFC, óxido nitroso (N₂O), SF₆, HFCs e CF₄.

3.1.1. Gás carbônico (CO₂) Liberado para a Atmosfera pelos Incêndios Florestais

A quantidade de carbono liberado para a atmosfera pela queima acidental das florestas amazônicas depende, naturalmente, da área florestal atingida pelo fogo, da quantidade de biomassa contida nessa área, e do índice de perda de biomassa aérea após do incêndio florestal.

Neste contexto, as emissões de CO₂ originárias de incêndios florestais foram estimadas com base na área florestal atingida pelo fogo acidental em anos com e sem El Niño, que foi obtida pela relação espacial entre áreas desmatadas e incêndios florestais e, parametrizada pelo índice de precipitação e tipo de vegetação (Seção 2.2.1., Tabela 4, Figura 4). A estas estimativas foram sobrepostos os cálculos de biomassa vegetal elaborados por Houghton *et al.* (2000) para a Amazônia brasileira, usando a estratificação de alto e baixo conteúdo de biomassa (Figura 6).

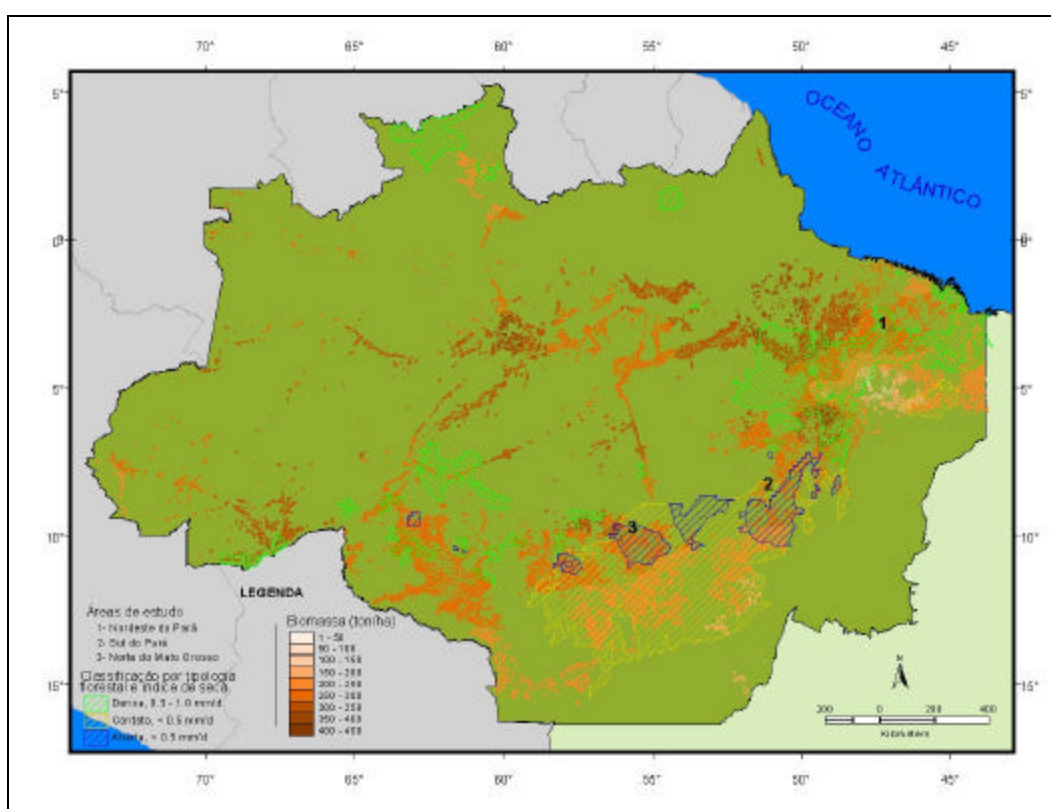


Figura 6. Áreas atingidas por incêndios florestais na Amazônia, estratificadas pela quantidade de biomassa (toneladas/ha).

Existe bastante incerteza com relação ao conteúdo de biomassa por hectare das florestas amazônicas. Brown & Lugo, (1992) chegaram a um valor médio para o conteúdo de biomassa em floresta nativa de 155 t/ha, enquanto Fearnside (1997) estimou em 464 t/ha. Na Figura 5 foram aplicadas as estimativas de biomassa florestal calculadas por Houghton *et al.* (2000) para a região amazônica sobre as áreas florestais analisadas neste estudo. Estes autores elaboraram três estimativas de biomassa usando a estratificação de alto, baixo e médio conteúdo de biomassa. As duas primeiras estimativas (alta e baixa) fundamentaram-se na conversão dos volumes de madeira do projeto Radam Brasil em biomassa. A estimativa de biomassa média baseou-se em levantamentos de volumes de madeira através de pesquisas de campo realizadas em 56 locais da Amazônia.

Na área de floresta ombrófila densa o conteúdo de biomassa variou de 121 a 397 t/ha, na floresta ombrófila aberta de 165 a 310 t/ha e na floresta de contacto de 161 a 310 t/ha. Uma vez definido o conteúdo de biomassa da área florestal queimada aplicaram-se percentuais de mortalidade de biomassa aérea após incêndios de 10 e 50%¹⁸, que corresponde ao conteúdo de carbono sendo liberado para a atmosfera.

Em resumo, o conteúdo de carbono liberado após incêndio florestal foi estimado conforme a seguinte equação:

$$C = \alpha A_i B_i \quad (7)^{19}$$

Onde:

- C_i representa a quantidade de carbono liberada após incêndios por tipo de floresta;
- A_i é área queimada por tipo de floresta para anos com e sem El Niño;
- B_i é a densidade da biomassa por tipo de floresta (usando as estimativas baixas e altas);
- α é o índice de mortalidade de biomassa após incêndios (0,1 e 0,5).

A partir da metodologia descrita anteriormente foram estimadas as emissões de carbono para anos com e sem El Niño, considerando conteúdos e mortalidade de biomassa máximos e mínimos (Tabela 5). Os resultados mostram que durante o ano 1995 sem a ocorrência do fenômeno El Niño a área de floresta que pega fogo (1.800 km²) libera de 3 a 29 milhões de toneladas de carbono provenientes, principalmente, da queima de florestas densas e de contato. No ano 1998 sob a influência do evento El Niño, 26 mil km² de floresta são atingidas pelo fogo emitindo de 36 a 472 milhões de toneladas de carbono provindas, na sua maioria, das florestas de contato.

Tabela 5. Emissões de CO₂ por incêndios florestais na Amazônia brasileira.

Tipos de Floresta	Área de Incêndio Florestal (km ²)		Biomassa (t/ha)		EMISSIONES DE CO ₂ (Milhões/t)			
	1998	1995	Min.	Max.	El Niño (1998)		Sem El Niño (1995)	
					Min.	Max.	Min.	Max.
Ombrófila Densa	15.200	100	121	397	18	302	0,2	2
Ombrófila Aberta	1.100	200	165	310	2	17	0,3	3
De Contato	9.900	1.500	161	310	16	154	3	24
Total	26.200	1.800			36	472	3	29

Estas estimativas são explicadas no texto.

¹⁸ Os estudos de Holdsworth & Uhl (1997), Cochrane & Schultze (1999), Carvalho & Nepstad (não publicado) e Barlow *et al.* (manuscrito inédito) indicam que entre 10 e 50% da biomassa aérea da floresta amazônica pode ser morta por incêndio florestal, e acaba sendo liberado para a atmosfera pela combustão do fogo ou pela decomposição das árvores mortas.

¹⁹ Houghton *et al.* (2000).

Estes resultados demonstram que os incêndios florestais em anos de El Niño, que estão sendo contabilizados neste relatório pela primeira vez, podem dobrar as emissões de carbono advindas do desmatamento da floresta amazônica, cuja média estimada é 200 milhões de toneladas ao ano (Houghton *et al.*, 2000). Mas é importante frisar o grande nível de variação da presente estimativa de emissões de CO₂ de incêndios florestais devido à falta de mapeamento completo dos incêndios e à grande variação no nível de biomassa florestal morta por estes incêndios. Estas estimativas de emissões, contudo, devem ser consideradas para fins de cálculo das emissões nacionais de carbono, o chamado inventário nacional de emissões²⁰, que advém de uma exigência do Protocolo de Kyoto, do qual o Brasil faz parte. Com as estimativas das emissões de carbono reveladas por este estudo, é possível que o montante das emissões via uso da terra na Amazônia até agora aventadas pelo governo em diferentes momentos (ca. 100-130 milhões de toneladas de C/ano) deva ser corrigido para um valor significativamente maior.

3.1.2. Custo Econômico da Liberação de CO₂

Existem na literatura dois procedimentos distintos para impor valores monetários às emissões de CO₂, a saber: (i) o dano de emissão ou o benefício gerado pela mitigação e (ii) o custo de mitigação.

O conceito de dano de emissão refere-se às conseqüências que a mudança no clima pode acarretar ao bem-estar individual e social vistas do ponto de vista econômico. Ele é definido como a diferença em termos de bem-estar entre cenários distintos de emissão. Em geral, a perda de bem-estar é medida em termos do produto que deixou de ser gerado devido aos impactos advindos da mudança climática que decorrem das emissões.

Por outro lado, o benefício da mitigação mede o dano evitado devido à imposição de uma medida mitigadora, sendo definido como a diferença entre os valores para dano gerados a partir de duas trajetórias de emissão (trajetória *baseline business as usual* e trajetória resultante após a implantação de uma medida mitigadora). O benefício marginal de redução também pode ser calculado como o imposto necessário para reduzir em uma unidade a emissão de CO₂, isto é, um preço sombra do carbono²¹. Os valores médios encontrados nesses trabalhos para o benefício marginal variam entre US\$ 5-10 por tonelada de CO₂.

A outra forma de valorar as emissões de CO₂ provém da estimativa do custo de mitigação evitado. Nesse sentido, utilizam-se os valores definidos através de modelos que tentam simular o preço do carbono a partir dos diferentes mecanismos do Protocolo de Kyoto²², flexibilizando a mitigação ao permitir o comércio mundial do carbono. Aqui a literatura também é controversa. O custo marginal de mitigação estimado para os países ricos é muito elevado e ainda existem indefinições nas regras de comércio a serem adotadas para cada mecanismo. Dessa forma preços de equilíbrio podem

²⁰ O inventário brasileiro será, segundo informações do governo, lançado durante a Conferência das Partes a ser realizada em Nova Deli, Índia, no final do mês de outubro do corrente ano.

²¹ Ver, por exemplo, Nordhaus (1994), Peck *et al.* (1992) e Madison (1994).

²² Os mecanismos do Protocolo de Kyoto são: (i) as Quotas Transacionáveis que autorizam a transferência ou aquisição de redução de emissão entre países que possuem quotas máximas de emissões estipuladas no Protocolo, (ii) o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) que permite que países comercializem suas reduções de carbono com países com quotas, e (iii) a Implementação Conjunta que autoriza transferência de reduções carbono via financiamento de projetos.

ultrapassar o nível de US\$ 20 por tonelada de carbono²³. Por outro lado, Zhang (2000) estimou o preço do carbono com base em um modelo que permite a participação dos três mecanismos do Protocolo de Kyoto sob três diferentes cenários de regulação e projeta um preço do carbono entre US\$ 3,5 e 9,6. Estas estimativas refletiriam melhor o custo de carbono poupado na medida em que estão relacionadas ao fato de que esta seria a remuneração a ser obtida num suposto mercado internacional de carbono.

Conforme o exposto anteriormente, o preço do carbono está sujeito a variações derivadas da metodologia utilizada para seu cálculo, sendo fortemente influenciado pela conjuntura política mundial e os acordos internacionais sobre redução das emissões globais. Neste contexto, o dano monetário originado pelas emissões de CO₂ oriundas dos incêndios florestais na Amazônia brasileira foi estimado utilizando preços mínimos e máximos encontrados na literatura, isto é, US\$ 3,5 e US\$ 20 t/C. Desta maneira, estabeleceu-se um intervalo de custo que reflete a variabilidade do preço do CO₂ devido ao grau de incerteza no mercado e nas negociações mundiais.

As estimativas mostram que, no ano 1998 sob efeito do El Niño, as emissões de CO₂ oriundas dos incêndios florestais originariam perdas monetárias equivalentes a US\$ 126 – 9.446 milhões. No ano 1995 sem a influência do El Niño os prejuízos variariam de US\$ 10 a 572 milhões. Estes valores poderiam ser muito superiores se fossem adicionadas as emissões provenientes do desmatamento da floresta amazônica (Figura 7).

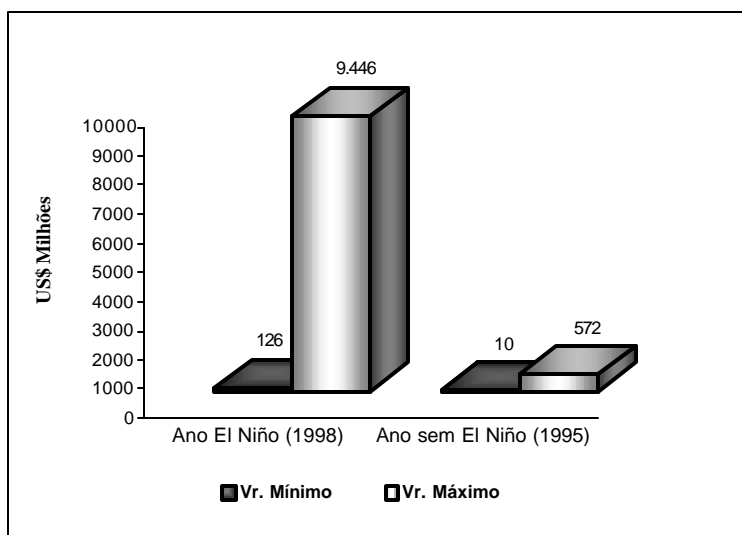


Figura 7. Valor monetário das emissões de carbono oriundas dos incêndios florestais na Amazônia brasileira

3.2. Danos à Saúde Humana

A saúde da população é fortemente afetada pela fumaça que é liberada nas queimadas agrícolas e incêndios florestais na Amazônia brasileira. Todo ano, durante a

²³ Ver Austin & Faeth (2000) para o caso de MDL em países em desenvolvimento e Seroa da Motta, Ferraz & Young (2000) para uma análise específica do Brasil.

estação seca registra-se aumento no número de pacientes internados nos hospitais e centros de saúde que apresentam quadros sintomáticos de bronquite, asma e outras doenças respiratórias provocadas pela inalação de fumaça (Nepstad *et al.*, 1999a). A liberação de fumaça atinge tanto aos habitantes da Amazônia rural quanto à população de grandes centros urbanos como Cuiabá, Boa Vista, Manaus e Rio Branco.

Na época das queimadas agrícolas grandes nuvens de fumaça se deslocam e cobrem vastas extensões da Amazônia. O monitoramento por satélite feito em agosto de 1995 mostrou uma nuvem de fumaça cobrindo cerca de 5 milhões de km², numa área igual a mais da metade do território brasileiro. Em algumas regiões da Amazônia a fumaça liberada pelas queimadas agrícolas e incêndios florestais origina concentrações de até 500 microgramas de partículas em um metro cúbico (m³) de ar, quando o normal para a região é de 15 a 20 microgramas por m³ de ar²⁴, superando de duas a três vezes as concentrações registradas em São Paulo²⁵ (Artaxo, <http://www.fapesp.br/projeto251.htm>). Neste caso a queimada surge como um fator que contribui para a concentração de material particulado na atmosfera, e conforme já foi demonstrado em alguns estudos, existe uma correlação positiva entre os altos índices deste poluente e a incidência de doenças respiratórias (Ostro, 1983; Seroa da Motta & Mendes, 1995).

A mensuração dos custos de saúde associados com a liberação de fumaça está atrelada à relação entre as variações de concentração de particulados geradas pelas queimadas e as variações nos índices de morbidade na região. A obtenção desta correlação não é trivial pelo fato de que uma mesma doença respiratória pode estar associada a outras fontes de poluição como: fuligem de serrarias e poeira de estradas não pavimentadas.

Neste estudo foram quantificados os casos de doenças respiratórias associados à fumaça utilizando modelos econométricos e atribuindo valores monetários a partir da disposição que indivíduos tem em pagar por uma redução do risco à saúde e do gasto governamental por internação hospitalar.

3.2.1. Modelo Econométrico para Morbidade

Com uso de técnicas econométricas, estimou-se uma relação entre casos de doenças respiratórias e a incidência de fogo observada na região. Isto é, a estimativa de uma função “dose-resposta” que associa variações de emissões com variações de casos de doenças.

O modelo dose-resposta foi estimado conforme a seguinte expressão:

$$N_{it} = f(S_{it}, F_{it}, Z_{it}) \quad (8)$$

Onde:

N_{it} é a incidência de morbidade por doenças respiratórias no município i no ano t ;

²⁴ Nas províncias de Kalimantan Central e Jambi na Indonésia foram reportadas concentrações de até 4.000 microgramas de partículas em um metro cúbico de ar no mês de setembro de 1997 por causa das queimadas agrícolas (Barber & Schweithelm, 2000).

²⁵ A legislação brasileira indica como padrão de qualidade do ar o máximo de 50 microgramas de partículas por m³. O ar da cidade de São Paulo registra, na média, 70 microgramas/m³ e o estado de alerta é atingido aos 150 microgramas/m³ (Artaxo, <http://www.fapesp.br/projeto251.htm>).

S_{it} é a área total queimada (fogo total) para o município i no ano t ;

F_{it} é a contribuição de outras fontes de emissão no município i no ano t ;

Z_{it} é o vetor de variáveis sócio-econômicas do município i no ano t .

Os dados para a variável dependente, incidência de casos por doenças respiratórias (N_{it}), foram obtidos de informações municipais sobre o número de internações (morbidade) registradas nos hospitais do Sistema Único de Saúde (SUS) que constam na base de dados DATASUS (<http://www.datasus.gov.br>) do serviço de informação do Ministério da Saúde.

Para a variável explicativa S_{it} (área total queimada) foi utilizada a estimativa do INPE e WHRC conforme a metodologia descrita no Anexo 1. As variáveis explanatórias F_i (outras fontes de emissão), foram controladas pelo volume de madeira serrada por município (Nepstad *et al.*, 1999b) e a razão entre extensão da malha rodoviária não pavimentada e área de cada município (IBGE, 1997).

Em relação as variáveis explicativas sócio-econômicas Z_{it} , foram utilizadas o tamanho da população²⁶ (IBGE, Censo Demográfico, 1991, Contagem da População, 1996) e três indicadores de renda municipal²⁷: valor real da madeira em tora, valor real da produção agropecuária (lavoura temporária) e um índice de quantidade (*quantum*) relacionado à atividade pecuária (IBGE, Censo Agropecuário, 1996; IBGE, Produção Agrícola Municipal, vários anos). O valor real da madeira em tora tem como objetivo captar a renda advinda da atividade madeireira e o índice quantum da atividade pecuária mantém uma relação direta com a expansão do rebanho bovino na região.

Esperou-se naturalmente encontrar uma correlação positiva entre área total queimada e a incidência dos casos de morbidade relativos às doenças respiratórias. A mesma expectativa se teve para as variáveis de outras fontes de emissão e o tamanho da população²⁸. Já para a renda esperou-se uma correlação negativa, dado que municípios mais ricos teriam mais capacidade de tratar seus doentes, assim como indivíduos de maior riqueza podem ser menos afetados pelo fato de possuírem meios de estar fora das áreas mais poluídas. Todavia, outros estudos referentes a estimativas de funções dose-resposta para poluição atmosférica (Seroa da Motta & Mendes, 1995, por exemplo) não encontram significância na variável renda, uma vez que, as áreas mais poluídas muitas vezes são aquelas economicamente mais dinâmicas e, portanto, os indivíduos de maior renda podem ser também afetados.

A projeção dos casos de morbidade associados às queimadas na Amazônia foi calculada a partir do produto entre o parâmetro estimativo relativo à área de fogo total e a área total queimada do município. Formalmente, tem-se:

$$b = \frac{\sum N_{it}}{\sum S_{it}} \quad (9)$$

²⁶ Os dados existentes de população municipal para os anos de 1991 e 1997 foram interpolados com base numa taxa de crescimento linear para obter os relativos ao período 1996-99.

²⁷ Pelo fato da renda municipal não estar aferida para todo o período de análise, foi necessário usar variáveis que a representassem no modelo.

²⁸ Como não foi utilizada taxa de incidência e sim números de casos, houve necessidade de usar a população como mecanismo de controle.

$$Nf_{it} = b \cdot S_{it} \quad (10)$$

Onde:

Nf_i é a estimativa dos casos de morbidade por doenças respiratórias no município i no ano t ;

b é o parâmetro que estima a contribuição específica das queimadas;

S_i representa a área total queimada no ano t no município i .

Da mesma forma que no caso das perdas agropecuárias, utilizaram-se modelos MQO e de painel para o dano físico à saúde humana. Conforme mostra a Tabela 6, todos os modelos para morbidade têm um bom ajuste e quase todas as variáveis são significativas.

Os coeficientes estimados para fogo total são muito próximos nos modelos de painel de efeito fixo e efeito aleatório, sendo superiores no MQO. As outras variáveis explicativas também apresentaram comportamento diferenciado entre os modelos aplicados. No MQO as variáveis população e fontes de emissão são significativas e de sinal correto, enquanto, as de renda não são significativas. No modelo de painel de efeito fixo o sinal da renda está positivo para o valor da produção madeireira, negativo para o índice *quantum* de bovinos e não significativo para o valor da produção agrícola. No modelo painel de efeito aleatório as variáveis de fonte de emissão, densidade de estradas e madeira serrada, são relativas e não variam no tempo, mas o índice de atividade pecuária aparece significativo e com sinal negativo. Com base nestes resultados, os modelos foram estimados somente controlando pelas variáveis que aparecem significativas: fogo total, população e renda.

Os resultados das análises de regressão sugerem que o modelo de painel de efeito fixo é o mais indicado para estimar os casos de morbidade associados com as emissões de fumaça. Entre os três modelos para morbidade, o coeficiente do modelo de efeito fixo é o menor. Todavia, a estimativa mais apurada tanto quanto possível deste coeficiente é fundamental, pois ele determina o número de casos de morbidade associados ao uso do fogo na Amazônia. Embora não seja possível a partir do uso do “estimador” de efeito fixo obter os coeficientes para as variáveis que não possuem variação temporal, como é o caso de densidade de estradas não pavimentadas e volume de produção de madeira serrada, este método permite uma estimativa mais fidedigna do coeficiente relacionado à área total queimada.

3.2.2. Casos de Doenças Respiratórias

De acordo com os resultados econométricos anteriores, na Tabela 7 são apresentados os valores projetados de casos de morbidade relacionados a fumaça em cada ano do período 1996-1999. Estes valores foram obtidos a partir das equações (9) e (10) mediante a aplicação do modelo de painel de efeito fixo.

O número de internações por doenças respiratórias associadas à fumaça variou entre 4.319 e 13.372 casos no período 1996-1999, com uma média anual de mais de nove mil pacientes internados. A maior extensão da área queimada nos anos 1998 e 1999, e conseqüentemente, a maior fumaça liberada, explica o incremento no número de pessoas apresentando doenças respiratórias. Nestes anos 8% do total de internações por

doenças respiratórias foram provocadas pela fumaça originada da queima de biomassa vegetal. Resultados semelhantes foram encontrados no estudo realizado na Indonésia por Barber & Schweithelm (2000), no qual oito províncias com uma população de 12,3 milhões de habitantes registraram 16.000 pacientes hospitalizados em consequência da fumaça produzida no período de setembro a novembro de 1997.

Tabela 6. Regressões entre casos de internações por doenças respiratórias e variáveis independentes selecionadas.

Variável Dependente	Internações por Doenças Respiratórias					
	MQO	MQO	Painel Ef. Aleatório	Painel Ef. Aleatório	Painel Ef. Fixo	Painel Ef. Fixo
Fogo Total	0,6853* (0,000)	0,6885* (0,000)	0,3080* (0,000)	0,3077* (0,000)	0,2961* (0,000)	0,2919* (0,000)
População	0,0072* (0,000)	0,0071* (0,000)	0,0072* (0,000)	0,0072* (0,000)	0,0082* (0,000)	0,0082* (0,000)
Índice de Atividade Pecuária	-0,1433 (0,214)	–	-0,8843* (0,000)	-0,8833* (0,000)	-1,4882* (0,000)	-1,4821* (0,000)
Valor Real da Madeira	0,5100 (0,157)	–	0,3483* (0,050)	0,3485* (0,050)	0,3203** (0,091)	0,3212** (0,090)
Valor Real da Produção Agrícola	0,0336 (0,671)	–	-0,0026 (0,970)	–	-0,0259* (0,724)	–
Volume de Produção Madeireira	0,0003* (0,022)	0,0004* (0,005)	0,0005* (0,000)	0,0004* (0,000)	–	–
Densidade de Estradas não Pavimentadas	4136,371* (0,000)	4355,579* (0,000)	5037,35* (0,100)	5032,28* (0,000)	–	–
Constante	119,964* (0,403)	100,921* (0,001)	262,811* (0,000)	262,511* (0,000)	412,697* (0,000)	410,590* (0,000)
Número de Observações	1056	1056	1056	1056	1056	1056
R ²	0,66	0,66	0,66	0,66	0,17	0,17
RHO	–	–	0,910	0,910	0,926	0,926
Teste de Hausman	–	–	24,32* (0,005)	24,49* (0,002)	–	–
Teste de Breusch-Pagan	–	–	1263,45* (0,000)	1263,28* (0,000)	–	–

*Para cada método de estimação foi calculado um modelo com todas as variáveis e outro constando, somente, as variáveis significativas. Aquelas variáveis que são estatisticamente significativas para explicar as variações nos casos de doenças respiratórias provocadas pelo fogo estão marcadas com notações * (menor que 5% de probabilidade) e ** (menor que 10% de probabilidade).*

Como os dados de estradas e madeira não variam no tempo, estes são desconsiderados no modelo painel fixo.

O alto valor de RHO e o teste de Breusch-Pagan indicam a importância do componente individual, enquanto a probabilidade zero para o teste de Hausman assinala, contudo, que o efeito aleatório não é dominante e assim a estimação mais consistente é aquela por efeito fixo.

Estas estimativas são conservadoras uma vez que foram considerados somente os casos de doenças respiratórias registrados no Sistema Único de Saúde, ficando excluídos da análise os pacientes atendidos nos hospitais privados assim como as pessoas que recorreram à auto-medicação.

Tabela 7. Dano físico à saúde humana pelo uso do fogo na Amazônia brasileira.

Doenças Respiratórias			
Ano	Total das Internações	Internações Associadas às Queimadas	% do Total
1996	149.951	4.319	3%
1997	155.706	6.816	4%
1998	152.246	12.875	8%
1999	167.559	13.372	8%
Média	156.366	9.346	6%

3.2.3. Valor Monetário do Dano por Doenças Respiratórias

O prejuízo econômico derivado dos casos de doenças respiratórias provocadas pelo uso do fogo na região amazônica foi mensurado pela perda de bem-estar que as doenças ocasionam. Uma medida para esta perda é a disposição a pagar (DAP) dos indivíduos, medida como parte de sua renda, para diminuir o risco de contrair uma enfermidade respiratória²⁹. Outro procedimento estimativo foi determinar os gastos públicos evitados no tratamento destas doenças e a perda de produção dos indivíduos afetados caso este aumento de doenças não ocorresse.

Na metodologia de DAP, também denominada de transferência de benefícios, utilizam-se valores estimados em outras economias e ajustados à economia local pelo diferencial de renda per capita, seguido de uma ponderação pela elasticidade renda da demanda da economia local³⁰. O valor de DAP é ajustado, adicionalmente, pelas diferenças em expectativa de vida e gastos com saúde. Externe (1998) estimou valores de DAP associados ao risco na saúde humana para Europa e, posteriormente, Seroa da Motta, Ortiz & Freitas (2000) ajustaram estes para o Brasil, conforme a seguinte função de transferência.

$$DAP_{br} = DAP_{eu} \times (PPC_{br} / PPC_{eu})^e \times (E_{br} / E_{eu}) \times (G_{br} / G_{eu}) \quad (11)$$

Onde:

DAP_{br} disposição a pagar para diminuir o risco de morbidade por doenças respiratórias no Brasil a partir de valores estimados para a Europa;

DAP_{eu} disposição a pagar para diminuir o risco de morbidade por doenças respiratórias estimado para a Europa;

PPC_{br} renda per capita brasileira ajustada pela paridade do poder de compra do Real;

PPC_{eu} renda per capita da Europa ajustada pela paridade do poder de compra do Euro;

e elasticidade marginal da renda no Brasil;

E_{br} e E_{eu} expectativa de vida, respectivamente, no Brasil e na Europa;

²⁹ A técnica de valoração contingente pode ser adotada perguntando diretamente às pessoas sua disposição a pagar ou aceitar variações de risco de vida ou incidência de uma doença. Ou, ainda mais comum observando variações de salários vis a vis variações de risco na ocupação.

³⁰ Esta ponderação representa a redução marginal da disposição a pagar de um indivíduo por um certo benefício em relação à redução marginal da sua renda.

G_{br} e G_{eu} gastos do governo com saúde, respectivamente, no Brasil e na Europa.

Seroa da Motta, Ortiz & Freitas (2000) estimaram valores de DAP para diversos cenários de ajustes e geraram valores anuais que variam de US\$ 800 a US\$ 2000 por indivíduo. Dada a dificuldade de estimar valores de DAP ajustados para cada município da região amazônica, foram utilizadas as estimativas de Seroa da Motta, Ortiz & Freitas (2000) que refletem a média nacional. Este procedimento gera certamente uma superestimativa da DAP, pois, tanto a renda per cápita como os indicadores de gastos de saúde e expectativa de vida da região são inferiores aos da média nacional. Sendo assim, foi usado um valor de elasticidade da renda igual a um ($e = 1$) que assume igual paridade entre risco de saúde e outros itens de consumo e, portanto, diminui o valor ajustado. Este valor anual da DAP em dólares de 1998 foi, então, de US\$ 797 como um pagamento que o indivíduo estaria disposto a pagar para evitar o risco atual de ficar doente por conta dos efeitos da fumaça do desmatamento. Note que não é o valor da doença e sim o do risco da doença.

Uma outra forma de avaliar o dano à saúde humana foi através dos gastos totais incorridos com tratamento de saúde por doenças respiratórias que seriam evitados no SUS caso não ocorressem queimadas. Estes valores foram estimados a partir do custo médio de internação, da mesma base do SUS, em relação à morbidade causada apenas pelo uso do fogo. O gasto médio anual de internação por indivíduo, isto é, a razão entre o gasto total evitado e o número de internações, variou de US\$ 173 a US\$ 196.

Na Tabela 8 são apresentados os valores monetários do dano por doenças respiratórias calculados através das abordagens de DAP e gasto evitado com internação (GEI) para cada ano do período 1996-1999.

Tabela 8. Dano monetário à saúde humana pelo uso do fogo na Amazônia brasileira.

Ano	Internações por Doenças Respiratórias	Valor do Dano (US\$ Milhões de 1998)		GEI / DAP
		Disposição a Pagar (DAP) ¹	Gasto Evitado com Internação (GEI) ²	
1996	4.319	3,4	0,8	23%
1997	6.816	5,4	1,2	21%
1998	12.875	10,3	2,5	25%
1999	13.372	10,7	2,6	26%
Média	9.346			

¹O valor de DAP por indivíduo para evitar risco de doenças respiratórias foi estimado em US\$797 por Serôa da Motta, Ortiz & Freitas (2000) usando elasticidade renda igual a um.
² O valor médio de GEI por indivíduo foi obtido das informações do DATASUS (<http://www.datasus.gov.br>) para cada ano do estudo.

Os custos médios anuais associados ao fogo, estimados mediante a metodologia de DAP, foram de US\$ 7,4 milhões, chegando a ultrapassar os US\$ 10 milhões nos anos 1998 e 1999 quando houve um incremento no número de casos de doenças respiratórias pela maior extensão da área queimada. Na abordagem do GEI os prejuízos econômicos são menores, atingindo uma média anual de US\$ 1,7 milhões. Os GEI representam apenas um quarto das estimativas com DAP ajustadas. Isto é esperado posto que estes

gastos evitados não refletem a perda de bem-estar individual e sim uma perda de gastos públicos, que no caso deve até ser muito baixa por questões de restrições orçamentárias.

Contudo, estes valores constituem uma sub-estimativa ao considerar que unicamente está se valorando a incidência de doenças respiratórias registradas na rede pública de atendimento do Sistema Único de Saúde (SUS) e que casos mais graves que culminaram em morte não foram contabilizados.

4. COMENTÁRIOS FINAIS

Os impactos econômicos e ambientais ocasionados pelo fogo vêm assumindo uma posição de destaque no âmbito internacional, principalmente, após a ocorrência do fenômeno El Niño (1997/98), quando uma superfície de 25 milhões de hectares de diversos ecossistemas do planeta foi atingida pelo fogo (FAO, 2001). Na Amazônia brasileira o desastre ecológico provocado pelo incêndio de Roraima chamou a atenção mundial e nacional sobre os efeitos negativos de uma ferramenta agrícola que quando fora do controle pode gerar mais prejuízos que benefícios constituindo-se em ameaça potencial para os ecossistemas e a biodiversidade.

O fogo, tradicionalmente visto como alternativa econômica viável para os agricultores e fazendeiros da região, tem se constituído também em um dos principais agentes de transformação da paisagem amazônica e de geração de prejuízos econômicos. Embora tais prejuízos sejam percebidos entre os diversos setores econômicos da região, uma determinação objetiva de sua magnitude até o momento não tinha sido calculada. Este estudo, portanto, vem preencher esta lacuna.

Entretanto, devido à limitação nos dados disponíveis, o exercício de valoração realizado foi muito simples e restrito às perdas de produção e consumo que são observadas na região. Isto é, apenas tratou-se de medir perdas de bens e serviços privados que são afetados em decorrência das queimadas. Além disto, sempre foram utilizadas medições conservadoras, com viés para valores subestimados, tanto no dano físico como na valoração monetária, sem que fossem considerados os valores de opção e de existência da floresta queimada em termos de seu patrimônio genético e biológico.

Embora a não inclusão destes valores estritamente ecológicos seja uma limitação para a valoração total dos danos causados pelo fogo, as estimativas parciais, por outro lado, podem ser percebidas com uma maior objetividade, uma vez que está se medindo as perdas que afetam diretamente a economia regional. Mesmo assim, os danos físicos e econômicos resumidos nas Tabelas 9 e 10, respectivamente, revelaram-se significativos.

Tabela 9. Resumo do dano físico provocado pelo fogo na Amazônia brasileira.

Ano	Perdas Agropecuárias		Doenças Respiratórias Casos	Perdas Florestais Km ²	Emissões de CO ₂	
	Pastagem Km ²	Cercas Km			Mínimo Milhões/t	Máximo Milhões/t
1995	nd	nd	nd	1.800	3	29
1996	6.510	15.329	4.319	nd	nd	nd
1997	10.275	24.194	6.816	nd	nd	nd
1998	19.408	45.698	12.875	26.200	36	472
1999	18.649	43.910	13.372	nd	nd	nd

nd: não disponível

Tabela 10. Resumo do custo econômico do uso do fogo na Amazônia brasileira.

Ano	Perdas Agropecuárias		Doenças Respiratórias		Perdas * Florestais	Emissão de CO ₂ *		TOTAL PERDAS	
	Min.	Max.	Min.	Max.		Min.	Max.	Min.	Max.
1996	12	32	1	3	1	10	572	24	608
1997	22	53	1	5	-	-	-	-	-
1998	39	97	3	10	13	126	9.446	181	9566
1999	35	90	3	11	-	-	-	-	-
Média								102	5087

* Os custos referentes a perdas florestais e emissão de CO₂ calculados para 1995, foram somados no ano 1996 para efeitos de obter um valor total dos custos em anos com e sem El Niño, uma vez que, o ano 1996 pode ser considerado um ano de precipitação semelhante a 1995.

Os maiores prejuízos físicos e monetários pelo uso do fogo nas atividades agrícolas da Amazônia ocorreram em 1998 como consequência da acentuação da seca severa provocada pelo fenômeno El Niño. Na Tabela 9 observa-se que cerca 19 mil km² de área de pastagem, 46 mil km de cerca e 26 mil km² de florestas foram queimados acidentalmente. Além dos danos aos proprietários rurais, a prática do fogo ainda foi responsável pelo total de 13 mil interações associadas a doenças respiratórias na região. Adicionalmente, os incêndios florestais emitiram entre 36 e 476 milhões de toneladas de carbono para a atmosfera. Em outras palavras, a nossa melhor estimativa da emissão de carbono dos incêndios florestais de 1998 é de aproximadamente 250 mais ou menos 220 toneladas de carbono.

Os resultados mostram que, cada proprietário rural da Amazônia brasileira perde em média 1,5 hectare de pastagem e 40 metros de cerca anualmente pela ação do fogo acidental, embora estas estimativas podem sofrer variações conforme com o tamanho da propriedade. Por outro lado, a área atingida por incêndios florestais em anos de El Niño chega quase a dobrar a área desmatada anualmente na região podendo duplicar as emissões de CO₂ providas do desmatamento e aumentando a contribuição das práticas agrícolas para a mudança climática global.

Estes danos quando valorados monetariamente, conforme mostra a Tabela 10, são também significativos e indicam custos anuais em 1998 em torno de US\$ 102 – 5.087 milhões, valores que representam 0,2 - 9,0% do PIB total da região, ou cerca de 2 - 79% do PIB agropecuário.

Vale observar na Tabela 10 que esta ampla variação dos resultados é fortemente influenciada pelas medidas de emissão CO₂ dado que as estimativas de estoque de carbono contido na floresta ainda revelam muita incerteza. Além disso, os valores anuais são também afetados pela ocorrência ou não do fenômeno El Niño. Dessa forma, em anos do El Niño os valores anuais dos prejuízos monetários podem ultrapassar US\$ 9 bilhões devido principalmente às emissões de CO₂ derivadas dos incêndios florestais.

O maior prejuízo recai sobre as emissões de CO₂, pois a liberação de carbono significa danos à economia global. Os custos associados à saúde, embora de menor magnitude, indicam somente quanto a população em geral está incorrendo em perdas de bem-estar por conta de casos de morbidade, sem considerar as perdas de vida. Já as perdas agropecuárias e florestais refletem os custos privados para os produtores rurais que não entram na contabilidade do sistema econômico.

Estudo similar de valoração mediu os custos do uso do fogo para toda a Indonésia (WRI, 2000) no período 1997-1998 e determinou um vabr em torno de US\$

9 bilhões ou 2,5% do PIB do país. Este estudo cobriu outros aspectos que não foram estudados no trabalho aqui descrito, tais como: proteção de cheias, erosão do solo, efeitos no transporte, e outros. As perdas na agricultura chegaram a um terço do custo total enquanto as de carbono e madeira somam o outro um terço. Já os custos associados à saúde não ultrapassaram 0,2%.

Em suma, esta primeira tentativa de medir os custos associados ao fogo na Amazônia permite gerar indicadores econômicos que colocam em questão a eficiência desta prática. Todavia, para uma valoração mais abrangente destes custos econômicos seria fundamental se incluir as perdas de biodiversidade e de produtos não madeireiros (castanhas, óleos e plantas medicinais), a eliminação de fauna e o valor dos serviços ecológicos da floresta para a manutenção do sistema hidrológico e climático regional, assim como valores éticos e culturais que são mais difíceis de quantificar em termos monetários pela sua subjetividade.

Mais ainda, para uma avaliação mais conclusiva sobre a eficiência da prática do fogo, seria necessário comparar estes custos totais com os custos econômicos de adoção de técnicas alternativas ao uso do fogo ou com as perdas de produção pela não utilização do fogo. Independente da magnitude estimada destes custos econômicos, mesmo nos seus limites inferiores, já permite indicar que existe um amplo espaço de viabilidade de ações de prevenção e combate ao fogo na região.

Estes desdobramentos na direção de uma análise de custo-benefício certamente definem uma agenda de pesquisa posterior. Contudo, considerando que a tendência futura é que períodos de seca prolongados sejam cada vez mais frequentes, levando ao aumento da inflamabilidade da floresta amazônica e a uma maior ocorrência de incêndios florestais, os prejuízos econômicos futuros para região poderiam ser superiores a aqueles estimados neste estudo.

Anexo 1. Estimativa de Área Queimada

Ainda não existem estatísticas oficiais da área anualmente queimada na Amazônia Brasileira. Os dados publicados periodicamente pelo INPE revelam exclusivamente a área de cobertura vegetal desmatada, sendo que as áreas atingidas pelo fogo intencional e acidental em áreas já desmatadas e pelo fogo acidental em áreas de floresta, não entram nesta contabilidade.

Uma aproximação da área queimada na Região Amazônica foi calculada por Setzer & Pereira (1991) para o ano 1987. Estes autores desenvolveram uma metodologia baseada na análise de imagens do satélite NOAA-9, na identificação dos focos de calor ou pixels quentes registrados e na utilização de coeficientes para ajustar possíveis sobre-estimativas induzidas pela duplicação de pixels quentes com base em pesquisa de campo³¹. A metodologia apresenta limitações, pois, precisa-se de maior pesquisa de chão e do levantamento de cicatrizes de fogo para estabelecer uma relação entre focos de calor e áreas queimadas e para identificar o tipo de fogo³² que está sendo registrado pelo satélite.

A pesar das limitações mencionadas, neste trabalho foi utilizada a metodologia de Setzer & Pereira (1991) para obter uma aproximação da área queimada na Amazônia Brasileira durante o período 1996-2000. A estimativa foi realizada conforme as seguintes etapas:

- 1- Análise das imagens do satélite NOAA-12 da região amazônica entre 1º de junho e 30 de novembro do período 1996-2000, fornecidas por Alberto Setzer do INPE.
- 2- Estimativa anual da frequência de focos de calor registrados nas imagens para cada município.
- 3- Divisão do número de focos de calor por 1,5, fator que indica a duração média do fogo em dias. Este ajuste é feito considerando que alguns grandes incêndios duram mais do que um dia e, portanto, são duplamente registrados pelo satélite.
- 4- Ajuste pelo fator de 0,37 que representa a sobre-estimativa da área queimada em cada pixel analisado. Em muitos casos a área efetivamente queimada é muito menor do que a área do pixel (1,1 km x 1,1 km), pois na verdade o satélite registra a ocorrência de um foco de calor por causa de sua alta temperatura, sendo que o foco pode abranger uma pequena área ou representar toda a área do pixel.
- 5- Obtenção da área queimada a partir do produto entre o número de focos de calor ajustados e 1,2 km que corresponde à área de um pixel em nadir.

A seguinte fórmula resume a estimativa da área queimada a partir dos focos de calor registrados:

³¹Detalhes sobre a metodologia podem ser consultados no artigo de Setzer & Pereira (1991) intitulado "Amazonia Biomass Burning in 1987 and an Estimate of Their Tropospheric Emissions".

³²Nepstad, *et al.* (1999a) fizeram uma revisão sobre os tipos de fogo.

$$AQ = (No. Focos / 1,5) * (0,63) * (1,2 km^2)$$

Onde:

AQ é a área queimada

$1,5$ é a duração da queimada (assumindo um número médio de dias de queimada)

$0,63$ é o fator que representa a área queimada descontando a sobre-estimativa de $0,37$ conforme Setzer e Pereira.

$1,2 km^2$ é a área do pixel em nadir

Anexo 2. Modelo Básico de Dados de Paineil

Na estimação dos modelos introduzidos nesse trabalho optou-se pelo uso da abordagem de dados de painel mais apropriada que é a mais apropriada para o tratamento de microdados contidos tanto na pesquisa realizada pelo IPAM no caso do dano à propriedade rural bem como na base de dados que permitiu estimar o dano à saúde humana. A análise de painel tem como característica fundamental o tratamento conjunto tanto de informação cross section como informação contida ao longo do tempo. Assim sendo modelo básico de dados de painel pode ser apresentado do seguinte modo:

$$y_{it} = \mathbf{a} + \mathbf{b}' x_{it} + \mathbf{d}' z_i + v_{it}, \quad \text{para } i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T \quad (\text{A.1})$$

Aqui y_{it} é a variável dependente, x_{it} representa o vetor de variáveis explicativas que variam tanto no tempo t como entre os indivíduos, i . O vetor z_i se relaciona com as variáveis explicativas mostram variação somente entre os indivíduos. Por fim, de acordo com a metodologia para dados de painel tem-se que $v_{it} = \mathbf{a}_i + u_{it}$, onde \mathbf{a} é um termo estocástico próprio dos indivíduos onde $E(\mathbf{a}_i^2) = \mathbf{s}_a^2$, enquanto que u_{it} é um distúrbio não estocástico não correlacionado com (x, z, \mathbf{a}) de modo que $E(u_{it}^2) = \mathbf{s}_u^2$. Assim temos que:

$$y_{it} = \mathbf{a} + \mathbf{b}' x_{it} + \mathbf{d}' z_i + \mathbf{a}_i + u_{it}, \quad \text{para } i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T \quad (\text{A.2}).$$

Tendo em vista as hipóteses do modelo deve-se notar que o vetor de distúrbio v , $N \times T$, para todas as observações agrupadas foge a hipótese clássica de homocedasticidade já que sua matriz de covariância é definida por $\mathbf{s}_u^2 I_{N \times T} + \mathbf{s}_a^2 (I_N \otimes i_T i_T')$, onde i é o vetor unitário e \otimes é o produto de Kronecker. Assumindo em (A.2) que \mathbf{a} é aleatório pode ocorrer que $E(\mathbf{a} | x, z) \neq 0$ ou $E(\mathbf{a} | x, z) = 0$. No primeiro caso é possível mostrar que os coeficientes $(\mathbf{b}_{GLS}, \mathbf{d}_{GLS})$ obtidos a partir da estimação por GLS são estimadores MELNT e consistentes dos parâmetros (\mathbf{b}, \mathbf{d}) . Esse estimador é conhecido na literatura como estimador de efeito aleatório.

Quando ocorre que $E(\mathbf{a} | x, z) \neq 0$, ou seja que o efeito individual é correlacionado com certas variáveis explicativas é possível obter estimadores consistentes para (\mathbf{b}, \mathbf{d}) a partir do seguinte procedimento. Através da aplicação da matriz de desvio Q , $Q = I_{N \times T} - (I_N \otimes i_T i_T' / T)$ sobre (A.2) assumiu-se a equação $QY_{it} = QX_{it}\mathbf{b} + Qu_{it}$, onde aqui o vetor de letras maiúsculas representa os dados já agrupados. A partir disso a estimação do parâmetro \mathbf{b} por OLS que gera o estimador de efeito “fixo” b_w , onde $b_w = (X_{it}' QX_{it})^{-1} X_{it}' QY_{it}$, produz um estimador consistente para \mathbf{b} . Em contrapartida a aplicação da transformação Q em (A.2) elimina \mathbf{d} o que por sua vez não permite a estimação desse parâmetro por meio desse procedimento.

A questão de como identificar se \mathbf{a} é correlacionado ou não com (X_{it}, Z_i) pode ser respondida por meio da aplicação do teste de Hausman. Hausman & Taylor (1981) observa que sob a hipótese nula de ortogonalidade entre \mathbf{a}_i e os regressores, tanto o estimador de efeito fixo quanto o estimador de GLS de efeito aleatório são consistentes,

enquanto b_w seja ineficiente. Sob a hipótese alternativa $E(\mathbf{a} | x, z) \neq 0$, b_w é consistente enquanto o estimador GLS não apresenta essa propriedade. Portanto sob a hipótese nula os dois estimadores não devem diferir sistematicamente (Greene, 1993).

Anexo 3. Estimativa da Área de Incêndios Florestais

Uma estimativa da área atingida por incêndios florestais na Região Amazônica foi calculada por Alencar *et al.* (dados não publicados) para anos de El Niño e não El Niño. A metodologia desenvolvida por estes autores baseou-se em entrevistas de campo, análise de imagens do satélite Landsat e observações diretas de fogo através de sobrevôos. Estes cálculos inéditos evidenciam a magnitude das perdas florestais ocasionadas pelos incêndios florestais na Amazônia. A estimativa foi realizada conforme as seguintes etapas:

1. Relação espacial entre área desmatada e incêndios florestais.

Durante os anos 1994 e 1995 foram realizadas entrevistas com proprietários rurais em três áreas ao longo do arco do desmatamento da Amazônia onde se concentram as queimadas agrícolas e, conseqüentemente, o maior registro de incêndios florestais (Alencar *et al.*, 1997). O objetivo das entrevistas foi mapear as cicatrizes deixadas pelo fogo acidental nas áreas de florestas. As áreas de estudo escolhidas foram Nordeste do Pará, Sul do Pará e Norte de Mato Grosso, as quais apresentam diferentes tipos de floresta e de precipitação.

As entrevistas foram utilizadas como amostras de treinamento na classificação das cicatrizes de incêndios florestais. Para cada área de estudo foram mapeadas as cicatrizes de incêndio florestal nas imagens do satélite Landsat TM do início da época seca dos anos de 1996 e 1999. Essas imagens indicaram as áreas atingidas por incêndios florestais em 1995 e 1998, considerados anos de precipitação média e precipitação baixa, respectivamente. Para cada área de estudo foram tiradas relações entre a distancia da borda da clareira e a área de floresta atingida por incêndios. Esta análise indicou que em todas as áreas de estudo a maior distância percorrida pelo fogo nesses dois anos foi de 4 km para dentro da floresta. Os fragmentos florestais foram divididos em buffers de um quilometro de distância, para os quais foi estimado o percentual de floresta queimada a cada quilometro (Tabela 11).

2. Extrapolação

Para a extrapolação da área de incêndio florestal foi utilizado um mapa de desmatamento no nível da Amazônia brasileira construído a partir das imagens disponibilizadas por Michigan State University para o ano 1992 (Skole & Chomentowski, <http://www.bsrsi.msu.edu/trfic/index.html>). Este mapa foi estratificado conforme os mesmos parâmetros das três áreas de estudo: nível de precipitação, isto é, milímetros de chuva diária média, tipo de vegetação e *buffers* de um quilômetro de distância até atingir os 4 km ao redor das áreas desmatadas. Uma vez feita a estratificação aplicaram-se os percentuais de floresta queimada obtidos nas áreas de estudo para determinar a área total de incêndio florestal em anos sob a influência do El Niño e sem El Niño.

Tabela 11. Estimativa da relação espacial entre área desmatada e incêndios florestais nos anos 1995 e 1998.

Áreas de Estudo	Nordeste do Pará	Sul do Pará	Norte de Mato Grosso
Tipo de Vegetação	Ombrófila Densa	De Contato	Ombrófila Aberta
Precipitação (mm/dia)	0,5 - 1,0	< 0,5	< 0,5
Área total de floresta ao redor das clareiras			
Buffer a 1 km da borda da clareira	36464	30780	12323
Buffer a 1 km da borda da clareira	25287	27585	7822
Buffer a 3 km da borda da clareira	20222	29887	6128
Buffer a 4 km da borda da clareira	12495	22752	3811
% da área total que foi incendiada em 1995			
Buffer a 1 km da borda da clareira	0,2%	3,7%	1,5%
Buffer a 1 km da borda da clareira	0,0%	0,9%	0,3%
Buffer a 3 km da borda da clareira	0,0%	0,4%	0,0%
Buffer a 4 km da borda da clareira	0,0%	0,1%	0,0%
% da área total que foi incendiada em 1998			
Buffer a 1 km da borda da clareira	16,6%	12,7%	8,6%
Buffer a 1 km da borda da clareira	26,6%	7,4%	0,3%
Buffer a 3 km da borda da clareira	11,7%	7,4%	0,1%
Buffer a 4 km da borda da clareira	0,6%	7,7%	0,1%

BIBLIOGRAFIA

- ALENCAR, A., NEPSTAD, D., SILVA, E., BROWN, F., LEFEBVRE, P., MENDOSA, E., ALMEIDA, D. & CARVALHO JR, O. *Uso do Fogo na Amazônia: Estudos de Caso ao Longo do Arco de Desmatamento*. World Bank Report. Brasília, March 1997.
- ARTAXO, P. *Queimadas deixam o ar da Amazônia mais Poluído que o da Cidade de São Paulo*. <http://www.fapesp.br/projeto251.htm>
- AUSTIN, D. & FAETH, P. *Financing Sustainable Development with Clean Development Mechanism*. Washington: World Resources Institute, 2000.
- BAPPENAS & ADB. *Causes, Extent, Impact and Costs of 1997/1998 Fires and Drought. Final Report, Annex 1 and 2*. Planning for Fire Prevention and Drought Management Project. Asian Development Bank TA 2999-INO. National Development Planning Agency (BAPPENAS), and Asian Development Bank, Jakarta, 1999.
- BARBER, C.V. & SCHWEITHELM, J. *Trial by Fire. Forest Fires and Forestry Policy in Indonesia's Era of Crisis and Reform*. World Resources Institute (WRI), Forest Frontiers Initiative. In collaboration with WWF-Indonesia and Telapak Indonesia Foundation, Washington D.C., 2000
- BARBOSA, R.I. & FEARNSSIDE, P.M. *As Lições do Fogo*. *Ciência Hoje*, 27 (157), p: 35-39, Janeiro/Fevereiro, 2000.
- BARLOW *et al.* Manuscrito inédito.
- BROWN, S. & LUGO, A. E. *Above Biomass Estimates for Tropical Moist Forest of The Brazilian Amazon*. *Interciência*, 17(1), p: 8-18, 1992.
- COCHRANE, M.A. *Positive Feedbacks in the Fire Dynamics of Closed Canopy Forests*. *Science*, 284, p:1832-1835, 1999.
- COCHRANE, M.A. & SCHULZE, M.D. *Fire as a Recurrent Event in Tropical Forests of the Eastern Amazon: Effects on Forest Structure, Biomass and Species Composition*. *Biotropica*, 31 (1), p: 2, 1999.
- EXTERNE. *Externalities of Fuel Cycles: Economic Valuations - An Impact Valuations Approach*. <http://extene.jrc.es/publications>, 1998.
- FAO. *State of the World's Forests: 2001*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2001.
- FEARNSSIDE, P.M. *Greenhouse Gases Emissions from Deforestation in Amazonia: Net Committed Emissions*. *Climatic Change*, 35, p: 321-360, 1997.
- FLAVIN, C. *Slowing Global Warming: A Worldwide Strategy*. Worldwatch Paper 91, Washington, D.C., Worldwatch, 1990.

- FGV. Fundação Getúlio Vargas. *Preço de Arrendamento da Terra*. <http://www.fgv.br>.
- GREENE, W. *Econometric Analysis*. Prentice Hall, 1993.
- HAUSMAN, J.A. & TAYLOR, W. *Panel Data and Unobservable Individual Effects*. 1981.
- HOLDSWORTH, A.R. *Perda de Árvores por Incêndio Florestal*. Dados não publicados, 2000.
- HOLDSWORTH, A.R. & UHL, C. *Fire in Amazonian Selectively Logged Rain Forest and the Potential for Fire Reduction*. *Ecological Applications* 7 (2), p: 713-725, 1997.
- HOUGHTON, R. *et al.* *Annual Fluxes of Carbon from Deforestation and Regrowth in the Brazilian Amazon*. *Nature*, 403, p: 301-304, 2000.
- HOMMA, A.K. *et al.* *A Dinâmica dos Desmatamentos e das Queimadas na Amazônia: Uma Análise Microeconômica*. *Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural*, 1, p: 663-676, 1993.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Diagnóstico Ambiental da Amazônia Legal*, 1997.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Demográfico 1991 e Contagem da População 1996*. <http://www.sidra.ibge.gov.br>.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Agropecuário 1996*. (www.sidra.ibge.gov.br).
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Produção Agrícola Municipal (PAM)*. Vários anos. (www.sidra.ibge.gov.br).
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Relatório Anual de Desflorestamento da Amazônia*. São José dos Campos, Brasil, 2000.
- IPCC. *Special Report on Emissions Scenarios*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- MADISON, D.J. *The Shadow Price of Greenhouse Gases and Aerosols*. *Mimeo*. Centre for Social and Economic Research on Global Environment (CSERGE). University College London and University of East Anglia, Norwich, 1994.
- NEPSTAD, D. *et al.* *Road Paving, Fire Regime Feedbacks, and the Future of Amazon Forests*. *Forest Ecology & Mgt.*, 154, p: 395-407, 2001.
- NEPSTAD, D. *et al.* *O Empobrecimento Oculto da Floresta Amazônica*. *Ciência Hoje*, 27 (157), p: 70-73, Janeiro/Fevereiro, 2000.

- NEPSTAD, D. *et al.* (a) *A Floresta em Chamas: Origens, Impactos e Prevenção de Fogo na Amazônia*. Brasília: Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais no Brasil, 1999.
- NEPSTAD, D. *et al.* (b) *Large-scale Impoverishment of Amazonian Forests by Logging and Fire*. *Nature*, 398, p: 505-508, 1999.
- NEPSTAD, D. & MOUTINHO, P. *Sobrevôo sobre Áreas Florestais*. Dados não publicados, 1998.
- NORDHAUS, W.D. *To Snow or Not Snow: The Economics of Greenhouse Effects*. *Economic Journal*, 101, p: 920-937, 1994.
- OSTRO, B.D. *The Effects of IR Pollution on Work Loss and Morbidity*. *Journal of Environmental Economics and Management*, 10, 1983.
- PECK, S.C. *et al.* *A Model for Carbon Emissions Trajectory Assessment*. *Energy Journal*, 13 (1), p: 55-77, 1992.
- REIS, E.J. & MARGULIS, S. *Options for Slowing Amazon Jungle-clearing*. In: DORNBUSH, R. and PORTEBA, J. (eds). *Global Warming: Economic and Response*, Cambridge, MA: MIT Press, 1991.
- ROSENFELD, D. *TRMM Observed First Direct Evidence of Smoke from Forest Fires Inhibiting Rainfall*. *Geophys. Res. Lett.* 26, 3105-3108, 1999.
- SEROA da MOTTA, R. & MENDES, A.P. *Custos de Saúde Associados à Poluição do Ar no Brasil*. *Pesquisa e Planejamento Econômico*, 25 (1), p: 165-198, 1995.
- SEROA da MOTTA, R., ORTIZ, R.A. & FREITAS, S.F. *Health and Economic Values of Mortality Cases Associated with Air Pollution in Brazil*. Expert Workshop on Assessing the Ancillary Benefits and Costs of Greenhouse Gas Mitigation Strategies, Washington, DC, 27-29, March, 2000.
- SEROA da MOTTA, R., FERRAZ, C. & YOUNG, C.E.F. *CDM Opportunities and Benefits*. In: Austin, D. and Faeth, P. (eds.) *Financing Sustainable Development with the Clean Development Mechanism*, World Resources Institute, Washington, 2000.
- SETZER, A. & PEREIRA, M. *Amazônia Biomass Burnings in 1987 and an Estimate of Their Tropospheric Emissions*. *Ambio*, 20 (1), p: 19-22, Feb 1991.
- SKOLE, D. & CHOMENTOWSKI, W.H. *Imagens do Desmatamento na Amazônia de 1992*. <http://www.bsrsi.msu.edu/trfic/index.html>.
- SUS – Sistema Único de Saúde. *Dados de Morbidade*. <http://www.datasus.gov.br>
- UHL, C. & KAUFFMAN, J.B. *Deforestation, Fire Susceptibility and Potential Tree Responses to Fire in the Eastern Amazon*. *Ecology*, 71, p: 437-449, 1990.

WRI. World Resources Institute. *The 1997-98 Forest Fires in Indonesia: Impact, Costs, and Causes*. WRI, Washington, 2000.

ZHANG, Z.X. *An Assessment of the EU Proposal for Ceilings on the Kyoto Flexibility Mechanisms*, Faculty of Law and Faculty of Economics, University of Groningen, The Netherlands, 2000.