

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E MANEJO DE
RECURSOS NATURAIS**

**SUSCEPTIBILIDADE DA FLORESTA PRIMÁRIA AO FOGO EM 1998 E 1999:
ESTUDO DE CASO NO ACRE, AMAZÔNIA SUL-OCIDENTAL, BRASIL**

ELSA RENEÉ HUAMÁN MENDOZA

**Rio Branco – Acre
2003**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E MANEJO DE
RECURSOS NATURAIS**

**SUSCEPTIBILIDADE DA FLORESTA PRIMÁRIA AO FOGO EM 1998 E 1999:
ESTUDO DE CASO NO ACRE, AMAZÔNIA SUL -OCIDENTAL, BRASIL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais da Universidade Federal do Acre, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais.

ELSA RENEÉ HUAMÁN MENDOZA

**Orientador: Daniel Nepstad Curtis, Ph.D.
Co-orientador: Irving Foster Brown, Ph.D.**

**Rio Branco-Acre
2003**

M539s

MENDOZA, Elsa René Huamán Mendoza. *Susceptibilidade da floresta primária ao fogo em 1998 e 1999: estudo de caso no Acre, Amazônia Sul - Ocidental, Brasil. 2002. 41 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais) – Universidade Federal do Acre, Rio Branco.*

Orientador: Prof. Ph.D. Daniel Nepstad Curtis

1. Susceptibilidade ao fogo, 2. Floresta tropical 3. Amazônia, I.
Título

CDU 630:614.84(911.2)

**SUSCEPTIBILIDADE DA FLORESTA PRIMÁRIA AO FOGO EM 1998 E 1999:
ESTUDO DE CASO NO ACRE, AMAZÔNIA SUL-OCIDENTAL, BRASIL**

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais da Universidade Federal do Acre, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia

Aprovada em _____ fevereiro de 2003.

BANCA EXAMINADORA

Daniel Nepstad Curtis, Ph.D.
Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia - IPAM

Irving Foster Brown, Ph.D.
Woods Hole Research Center – WHRC
Universidade Federal do Acre - UFAC

Carlos Augusto Klink, Ph.D.
Universidade Federal de Brasília – UNB

Dr. Marcos Silveira
Universidade Federal do Acre - UFAC

Rio Branco – Acre
2003

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Victor e Julia; e marido, Jesus.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus, às pessoas e às instituições que contribuíram para a realização deste trabalho;

Ao meus orientadores, Daniel Nepstad Curtis e Irving Foster Brown, pela dedicação e ensinamentos;

Ao Dr. Mark Cochrane, Dr. Luis Solorzano e Dr. Mcluf, pelo apoio nas análises dos dados;

A Silvia Brilhante, Diogo Selhort e Paulo Juari da Silva pelo acompanhamento e levantamentos dos dados;

A Dra. Ana Maria Alves de Oliveira e ao Dr. Cleber Salimon, pela revisão do texto;

Ao Sr. Raimundo Ferreira de Souza – Bibliotecário da UFAC, pela revisão bibliográfica;

Aos meus colegas de turma e do Setor de Uso da Terra e Mudanças Globais/PZ, pelo importante incentivo para a finalização deste trabalho;

Aos colegas do Parque Zoobotânico e do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazonia –IPAM, pela prestimosa colaboração;

À Universidade Federal do Acre e Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais pelo auxílio em todos os momentos necessários;

Ao IPAM e Parque Zoobotânico, pelos recursos financeiros e logísticos a mim confiados;

Aos financiadores Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia - IPAM, Experimento de Grande Escala Biosfera Atmosfera – LBA e Programa Piloto - PPG-7;

Às demais pessoas que direta ou indiretamente, contribuíram para esta minha empreitada.

SUMÁRIO

Página

DEDICATÓRIA.....	V
AGRADECIMENTOS.....	VI
SUMÁRIO.....	VII
LISTA DE TABELAS.....	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
RESUMO.....	X
ABSTRACT.....	XII
1. INTRODUÇÃO.....	04
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	06
2.1- Localização da área de estudo.....	06
2.2- Métodos.....	06
2.2.1-Estrutura da floresta, combustível, micrometeorologia, e água no solo.....	09
2.2.2-Fogos experimentais.....	11
3. RESULTADOS.....	12
3.1- Pluviosidade, conteúdo de água no solo e mudanças biofísicas na floresta.....	12
3.2- Tipologia Florestal e sua influencia sobre a susceptibilidade da floresta ao fogo (floresta com palmeiras e floresta com bambu).....	16
3.3- Modelos de ocorrência de fogo.....	17
3.4- Avaliação da previsão dos modelos.....	20
3.5- Influência do fogo sobre a área queimada.....	21
4. DISCUSSÃO.....	23
4.1-Na seca severa a floresta primária na região Amazônica Sul-Occidental torna-se susceptível ao fogo?.....	23
4.2-Quais são as principais variáveis associadas com a susceptibilidade da floresta ao fogo nesta região?.....	23
4.3-Como essa susceptibilidade varia entre floresta aberta com palmeira e de bambu?.....	24
4.4-Qual é o modelo de previsão de propagação do fogo mais apropriado na região?.....	24
5. CONCLUSÕES.....	26
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27

Lista de Tabelas

Página

Tabela 1 - Diferenças em variáveis ambientais associadas à propagação do fogo em dois tipos de florestas na Fazenda Experimental Catuaba.....	16
Tabela 2 - Estimativa de modelo de probabilidade de propagação do fogo usando quatro variáveis na Fazenda Experimental Catuaba - Rio Branco - AC.....	18
Tabela 3 - Modelos de regressão logística derivados do total de fogos experimentais para 1998 e 1999 como funções de variáveis medidas no campo.	18
Tabela 4 - Sumário dos modelos que mostram mais significância e explicação do resultado de alastramento do fogo.	19
Tabela 5 - Previsão dos acertos dos modelos determinado para a propagação do fogo dentro da floresta primária na Fazenda Experimental Catuaba - AC, Brasil.	20
Tabela 6 - Regressão linear múltipla da área queimada, método 'Stepwise/Backward'.	21

Lista de Figuras

Figura 1 - Localização da área de estudo no Sudoeste da Amazônia	07
Figura 2 - Pluviosidade mensal nos anos de 1998 e 1999.	12
Figura 3 - Relação água no solo (mm) e índice de área foliar - IAF, Fazenda Experimental Catuaba - RB/AC- Brasil 1998 e 1999.	13
Figura 4 - Características biofísicas das florestas da Fazenda Experimental Catuaba, no período seco de 1998 e 1999.	14
Figura 5 - Fração de fogos experimentais que se propagaram em 1998 e 1999, na Fazenda Experimental Catuaba,....	15
Figura 7 - Porcentual de ignição na floresta de bambu e na floresta aberta na Fazenda Experimental Catuaba.	17

Susceptibilidade da floresta primária ao fogo em 1998 e 1999: Estudo de caso no Acre, Amazônia Sul-Occidental, Brasil

E.R.H. Mendoza^{1,2*}, D.C. Nepstad^{1,3}, I.F. Brown^{2,3}

¹Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, Av. Nazaré 669 Belém, PA Brasil

²Universidade Federal do Acre, BR 364 Km 04 Distrito Industrial, CEP 69915-900 Rio Branco, AC Brasil

³The Woods Hole Research Center, P.O. Box 296, Woods Hole, MA 02543, EUA

Resumo

Por muito tempo, acreditou-se que a floresta primária na Região Amazônica seria imune à presença do fogo. Entretanto, estudos mostraram que no passado a floresta era susceptível ao fogo e sofria incêndios em épocas de grandes secas. Existem indícios, dos últimos anos, de que a floresta primária Amazônica estaria sofrendo a perda da resistência natural ao fogo, como uma consequência direta do aumento do desmatamento, do número de fogos originada pelos agricultores, através da conversão da floresta para agricultura ou pecuária, e das mudanças globais. Este estudo objetivou determinar a susceptibilidade da floresta primária ao fogo na Amazônia Sul-Occidental e identificar as variáveis que contribuem para a sua propagação. Foram realizados 205 fogos experimentais em florestas abertas com palmeiras e floresta aberta com bambu, na Fazenda Experimental Catuaba. Os experimentos foram realizados nos períodos secos de 1998 (n=130) e 1999 (n=75). Aproximadamente 41% dos fogos se propagaram em 1998 e, em 1999, menos que 7% se propagaram. A floresta aberta com palmeiras e a floresta aberta com bambu não apresentaram diferenças significativas na propagação do fogo. As principais variáveis encontradas que explicam a variação da propagação do fogo foram: a quantidade de água na serapilheira, umidade relativa do ar na floresta, altura da serapilheira e abertura de dossel. O conteúdo de água na serapilheira, quando menor que 20%, facilitou a propagação do fogo nas florestas da região. A variável que influenciou significativamente a velocidade da propagação do fogo (área queimada) foi a umidade relativa do ar dentro da floresta. Os modelos de regressão logística da propagação de fogo são baseados nos seguintes variáveis: (1) conteúdo de água na serapilheira com umidade relativa do ar na floresta ($\rho^2=0,25$), (2) altura da serapilheira com abertura de dossel ($\rho^2=0,20$), (3) umidade relativa

do ar na floresta com altura da serapilheira ($\rho^2=0,25$) e (4) conteúdo de água na serapilheira ($\rho^2=0,25$). Em épocas de maior estiagem as florestas da Amazônia Sul-Occidental tornam-se susceptível ao fogo, podendo originar incêndios florestais.

Palavras chaves: Susceptibilidade ao fogo, floresta tropical, Amazônia, modelos de fogo. queimadas

Abstract

The Amazon region was believed to be immune to fire. But recent studies have shown that the forest becomes susceptible to fire and in fact it burns in times of severe droughts. There are indications that the forest has lost its natural resistance to fire in recent years. This phenomenon could be the consequence of the increase in deforestation rates, of the increase of fires set by farmers in the conversion of forests to pastures, and of global changes. The goal of this paper was to determine the fire susceptibility of a mature forest in southwestern Amazonia and the variables that contribute to its flammability during the dry season of 1998 and 1999. The study area was the Catuaba experimental farm, with 800 ha of mature forest, owned by the Federal University of Acre. We set 205 experimental fires in two forest types, open forest and open forest dominated by bamboo. In 1998, 41% of the 130 fires propagated; In 1999 of the 75 fires set in 1999, only 7% propagated. No significant difference was observed between the two types of forest (open forest and bamboo forest) in regard to fire propagation. The variables that contributed most to fire propagation, were the amount of water in litter, relative air humidity in the forest, litter height and canopy openness. Relative air humidity under the canopy significantly influenced the speed of fire propagation (area burned). Four variables and their combinations best describe the probability of fire propagation using logistic regression: (1) litter water content and relative air humidity under the canopy ($\rho^2=0.25$), (2) litter height and canopy openness ($\rho^2=0.20$), (3) litter height and air humidity under the canopy ($\rho^2=0.25$), (4) and litter water content alone ($\rho^2=0.25$). In the driest periods of the year, the forests of southwestern Amazonia become susceptible to fire.

Keywords: Susceptibility to fire, Tropical forest, Amazon, models of fire, burning

1. INTRODUÇÃO

Embora as florestas Amazônicas tenham sido consideradas durante muito tempo pouco inflamável devido a sua alta pluviosidade e alta umidade relativa do ar, nos últimos 15 anos esta visão mudou (Barbosa e Fearnside, 2000; Nepstad et al., 1999). Evidências indicam a ocorrência de grandes incêndios florestais antes e depois da colonização européia. Por exemplo, existem camadas de carvão vegetal abaixo do solo da atual floresta Amazônica datados até 8.000 anos antes do presente (A.P.), com outras camadas sendo datadas a 2.700, 1.500, 700 e 130 anos A.P. (Sanford et al., 1985; Meggers, 1994a e b; Santos et al., 2000; Behling e Costa, 2000; Piperno e Becker, 1996). Estas datações coincidem com evidências de eventos do fenômeno *El Niño* nos sedimentos do litoral peruano (Meggers, 1994b), e sugerem um cenário de secas prolongadas na Amazônia, que teriam favorecido a ocorrência de grandes incêndios florestais.

Nas últimas décadas, a frequência de grandes incêndios na Amazônia aumentou. Durante os anos 1912 e 1926, as florestas na bacia do Rio Negro foram atingidas por incêndios (Sanford et al., 1985; Sternberg, 1987). Recentemente, no final de 1997 e início de 1998 no Estado de Roraima – Brasil, 10.000 km² de floresta primária queimaram (Shimabukuro, 2000; Barbosa e Fearnside, 2000) e mais de 29.000 km² fora de Roraima (Diaz et al., 2002) Estes foram anos extremamente secos, sendo o fato atribuído ao fenômeno *El Niño* - o aquecimento das águas superficiais do oceano Pacífico, alterando o clima de parte do planeta, em especial o da América do Sul (Nepstad et al., 1999; Barbosa e Fearnside, 2000; Shimabukuro, 2000).

Existem poucos estudos que mostram como uma seca severa pode aumentar a susceptibilidade das florestas primárias na Amazônia (Moutinho et al. no prelo), porém, existe uma hipótese de que a umidade e a altura da serapilheira na floresta e a abertura de dossel sejam fatores chaves para entendimento do processo (Nepstad et al., 1995, 1999b; Barbosa e Fearnside, 2000). Uhl e Kauffman (1990) mostraram que existe um limiar de conteúdo de água na serapilheira de 12%, abaixo do qual o fogo pode-se propagar na camada de serapilheira, considerada como combustível fino (Kauffman et al., 1988; Uhl et al., 1988; Holdsworth e Uhl, 1997). Esses estudos mostraram também que a umidade da liteira na floresta amazônica dificilmente alcança valores inferiores ao limiar, e como consequência, a floresta raramente torna-se susceptível ao fogo.

No entanto, com secas severas, esta resistência ao fogo pode ser perdida, principalmente pelo fato dos estoques de água nas florestas serem esgotados nos primeiros 10m do solo (Nepstad et al., 1999b). Na hipótese de Nepstad et al., (1995, 1999b), a inflamabilidade é interpretada como o nível de estresse hídrico em que o conteúdo de água no solo da floresta é reduzido o suficiente para provocar a abscisão das folhas. A queda das folhas causa duas mudanças fundamentais nas condições microclimáticas da floresta, favorecendo a propagação do fogo: (i) abertura de dossel, com o conseqüente aumento da penetração de luz, levando a um aumento da temperatura e redução dos teores de umidade relativa do ar, secando a serapilheira, e (ii) aumento no volume da serapilheira, em conseqüência da queda de folhas provocada pela seca.

Além da diminuição do estoque de água e suas conseqüências, outros fatores determinantes da propagação do fogo na floresta seriam as características fitofisionômicas e dinâmicas da floresta. Determinados tipos de vegetação nativa na Amazônia poderiam ser fruto da interação entre seca severa e incêndios florestais (Nelson et al., 1998). Segundo Nelson (1994) e Silveira (1998), os freqüentes incêndios no sudoeste da Amazônia seriam conseqüências da presença das florestas de bambu, cuja extensão é da ordem de aproximadamente 180.000 km² de extensão (Nelson et al., 1994). Para os autores a forma arredondada de algumas manchas de florestas com bambu – tabocais no Acre e *pacales* no Peru – seria um indício da ação de incêndios florestais pretéritos, especialmente em épocas de *El Niño*.

Em função dos efeitos do fogo florestal e da escassez de estudos sobre a susceptibilidade das florestas na região sul-ocidental da Amazônia, e diante do contexto apresentado, as perguntas principais levantadas e a serem respondidas neste artigo são:

- Na seca severa a floresta primária na região Amazônica Sul-Occidental torna-se susceptível ao fogo?
- Quais são as principais variáveis associadas com a susceptibilidade da floresta ao fogo nesta região?
- Como essa susceptibilidade varia entre florestas abertas com palmeiras e de bambu?
- Para fins de previsão, qual o modelo de propagação de fogo mais apropriado para a região?

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Localização da área de estudo

Este estudo foi realizado na Reserva da Fazenda Experimental Catuaba (10° 04'S, 67°38'W; 10°06'S, 67°36'W) (Salimon e Brown, 2000) localizada no município de Senador Guiomard, Estado do Acre (Fig. 1). A área possui aproximadamente 800 ha, a maior parte coberta por floresta primária pouco alterada. A vegetação é formada por um complexo mosaico de florestas com palmeiras e florestas com bambu (*Guadua weberbauerii* Pilger, Silveira, 1999 e 2001).

O clima na região é quente e úmido (média anual 24,5°C; máxima anual 32°C) com uma estação seca estendendo-se de maio a outubro (média mensal inferior a 50mm), e uma estação chuvosa, o “inverno” amazônico, que se estende de novembro a abril. A pluviosidade anual varia entre 1600mm e 2750mm (Zakia, 2000).

2.2 Métodos

Neste estudo investigou-se a susceptibilidade de uma floresta Amazônica ao fogo e os fatores associados com esta susceptibilidade. Os fogos experimentais forneceram medidas empíricas da susceptibilidade da floresta ao fogo, e as outras medidas permitiram testar as variáveis independentes como determinantes desta susceptibilidade, além de permitir sua caracterização.

Foram realizados 205 experimentos de fogos entre 02 de julho a 14 de outubro de 1998 e 02 de julho a 14 de outubro de 1999. Mediram-se as variáveis que podem ser associadas com a inflamabilidade da floresta e a sua distribuição espacial em dois tipos de floresta: floresta aberta com palmeiras e floresta de bambu. Estas medidas auxiliaram na quantificação da contribuição de cada variável para a combustão (se o fogo se propagou ou não) e para as características do fogo (área queimada, velocidade e altura). Estes dados facilitaram a construção de modelos das probabilidades do fogo se propagar dentro da floresta.

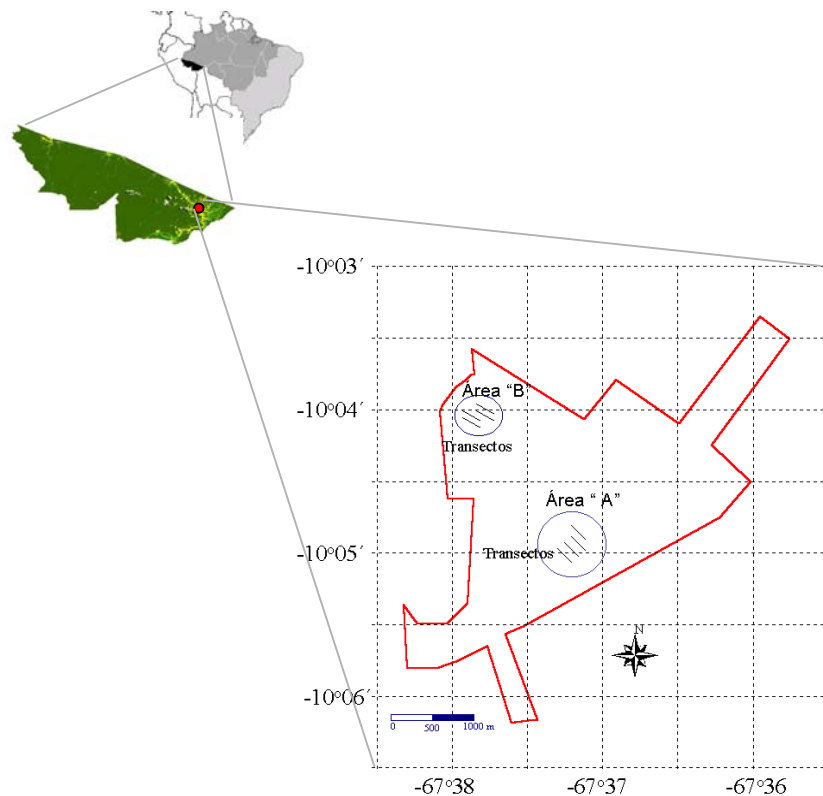


Figura 1 - Localização da área de estudo no sudoeste da Amazônia ($10^{\circ} 04'S$; $67^{\circ}38'W$, $10^{\circ}06'$; $67^{\circ}36'$). Área de amostra em transectos, área A (lado sul, com floresta aberta e bambu) e área B (lado norte com floresta aberta e bambu). Cada quadrado aproximadamente = 1 km x 1 km.

Neste estudo enfocou-se dois tipos de vegetação: floresta com bambu (*Guadua weberbaueri* Pilger) e floresta aberta com palmeiras, seis variáveis da vegetação (Índice de Área Foliar - IAF, abertura de dossel, altura da serapilheira, conteúdo de água na serapilheira, combustível e biomassa da serapilheira), seis variáveis físicas (umidade relativa do ar, temperatura, conteúdo de água no solo, pluviosidade, velocidade e direção do vento). Não foram consideradas as características químicas da serapilheira combustível.

Na área de estudo as florestas tem uma alta diversidade de espécies arbóreas, apresentando 109 espécies arbóreas por hectare com diâmetro ao nível do peito de pelo menos 10cm (Bersch, 2000); esta alta diversidade dificulta a identificação do efeito químico da serapilheira. Para determinar a susceptibilidade, além das variáveis independentes citadas acima, foram usadas duas variáveis dependentes: (1) uma variável

binomial – ocorrência ou não da propagação, e (2) uma variável contínua - área queimada em 4 minutos.

O levantamento dos dados foi realizado durante os meses de julho a outubro (período entre o início da época seca e início da época chuvosa) dos anos 1998 e 1999, em duas áreas amostrais (ambos com mosaicos de floresta com palmeiras e florestas com bambu). Estas áreas eram separadas em aproximadamente 2km uma da outra.

Nestas áreas foram estabelecidos oito transectos paralelos de aproximadamente 250m cada, com 20m entre cada um, sendo 750m em floresta aberta com dominância de bambu e 1.250m em floresta com palmeiras perfazendo um total de 2.000m de transecto. Foram aplicadas definições operacionais de floresta com palmeiras e floresta com bambu usando um raio de 10m ao redor do observador, avaliando número de colmos de bambu, número de árvores grandes e abertura de dossel.

Nestas áreas foram estabelecidos oito transectos paralelos de aproximadamente 250m cada, com 20 metros ou mais entre transectos, sendo 750m em floresta aberta com dominância de bambu e 1.250m em floresta com palmeiras perfazendo um total de 2.000 m de transecto. Medidas foram feitas de 25 em 25m, fazendo um total de 164 pontos de amostragem. Para a área de bambu, no entanto, algumas variáveis (índice de área foliar e abertura de dossel) foram medidas de 5 em 5m, totalizando 74 pontos de amostragem e para medidas de biomassa da serapilheira foram realizados de 50 em 50m, com um total de 30 pontos.

2.2.1. Estrutura da floresta, combustível, micrometeorologia, e conteúdo de água no solo.

Duas medidas da cobertura foliar do dossel foram feitas. Para estimar o índice de área foliar (IAF), que é a área foliar da floresta dividida pela área da parcela no chão em m^2/m^2 , utilizou-se o instrumento Li-Cor - 2000. Este aparelho estima o IAF através de medidas da interceptação de luz solar em vários ângulos (Cutini et al. 1998). A leitura foi realizada no início da manhã (até 8horas e 30minutos) e no final da tarde (a partir de 4 horas) para reduzir o erro introduzido pelo disco solar. A medida da abertura do dossel (percentual do dossel onde o céu é visto, dentro da floresta) foi realizada mensalmente usando densiômetro esférico côncavo (modelo-C da Forestry Suppliers, Inc.).

O material combustível morto (necromassa) de galhos e troncos, localizado acima do solo, foi quantificado a cada 30 dias ao longo dos transectos, utilizando-se o método de

intersecto planar proposto por Brown (1972). Estes dados foram coletados somente em 1998.

O conteúdo de água, massa e altura da serapilheira foram medidos duas vezes por semana, entre 12 horas e 17 horas, sendo os dois primeiros parâmetros estimados a partir da coleta da serapilheira. As coletas foram realizadas utilizando-se um aro metálico de 30cm de diâmetro (área de $0,07\text{m}^2$) e o material acondicionado em sacos plásticos vedados por um prazo de até 12 horas. Após esse período, o material foi pesado e secado em estufa por 36 horas, a uma temperatura de $75^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ (controle realizado mediante amostragem com pesagens de 6 em 6 horas até atingir peso constante). O conteúdo de água da serapilheira foi determinado pelo método gravimétrico em umidade de percentual peso seco.

Para determinar a altura da serapilheira utilizou-se como referência os quatro pontos cardinais e um no centro do aro, sendo medidos cinco pontos para cada amostra.

Concomitante à coleta da serapilheira, foi feito monitoramento da quantidade de água na serapilheira, com auxílio de 80 bolsas previamente montadas com serapilheira do mesmo local. No controle das amostragens foi detectado um erro nas estimativas de peso úmido nas bolsas e no material, a malha utilizada acumulava água em aproximadamente 15%, por este motivo não foram utilizados estes dados nas análises.

Foi estimada a umidade de material combustível (galhos de árvores e arbustos), de diâmetros menores de 1,5cm, usando 30 *fuel sticks* (madeiras de pinho), método de Schoeder e Buck (1970), citado por Pyne et al. (1996). Este material foi pesado com balança digital (precisão de ± 1 grama), duas vezes por semana, no mesmo dia e horário da coleta de serapilheira e pesagem das bolsas.

A umidade do ar dentro da floresta foi medida utilizando-se psicrômetro (bulbo seco e úmido) e registradores automáticos (*hobos*) de temperatura e umidade relativa. Foram colocadas quatro *hobos*, dois na floresta com palmeiras e dois na floresta com bambu, que registraram, de 15 em 15 minutos, a temperatura e umidade. Para evitar a interferência nos aparelhos dos raios diretos do sol e chuva, foram construídas caixas isolantes com material de PVC, onde foram colocados os *hobos*, aproximadamente a um centímetro do solo, evitando desta forma contato direto com o solo.

As medidas da quantidade de água total no solo foram feitas em perfurações de até 7m, abertas com trados, e as coletas de solos foram feitas nas seguintes camadas: 0 a 10 cm, 30cm, 50cm, 100cm, 150cm, 200cm e intervalos de 100cm até 700cm. Um total de 74 perfurações foi realizado em 1998 e 76, em 1999, igualmente distribuídas entre as florestas

com palmeiras e de bambu. O conteúdo de água do solo foi determinado pelo método gravimétrico. As amostras de solo foram pesadas e secadas em estufas a $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, por 48 horas.

Para determinar a densidade do solo foram abertos quatro poços de 1,30m x 0,70m x 7m de profundidade; dois localizados em floresta aberta e dois em floresta de bambu. Destes poços foram coletadas amostras de solo nas camadas de 10, 30, 50, 100, 150 e 200cm e posteriormente a intervalos de 100cm até 700cm). A densidade do solo foi calculada usando o método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997).

2.2.2. Fogos experimentais

Foram realizados quatro fogos experimentais por dia, no horário de 11 horas até 17 horas e 30 minutos, perfazendo um total de 130 em 1998 e 75 em 1999. Os pontos dos fogos experimentais foram determinados aleatoriamente ao longo dos transectos e situavam-se pelo menos a 5m além da borda da linha principal do transecto. Com um aro metálico de 20cm de diâmetro foi demarcada a área de iniciação do fogo. Nesta área foi medida a umidade relativa do ar dentro da floresta, antes de iniciar a ignição, com leituras a cada três minutos, em três repetições, usando um psicrômetro (Couto e Candido, 1980).

Foram realizadas medidas da quantidade da serapilheira e, em seguida, o material foi coletado para auxiliar na determinação da umidade e quantidade de serapilheira, sendo substituído, ao mesmo tempo, por serapilheira localizada próxima deste local. Realizou-se o mesmo processo descrito no item anterior para calcular a quantidade de água e quantidade de serapilheira. Para avaliar a abertura do dossel, foram realizadas as leituras com densiômetro côncavo, seguindo a orientação dos quatro pontos cardinais, e para o cálculo de área foliar foi usado o índice de área foliar - IAF no dia seguinte no mesmo ponto da queimada.

Após a realização das leituras das variáveis do combustível fino e do microclima, na área demarcada, foram colocados 20ml de querosene na circunferência do aro. Iniciada a ignição, foram avaliadas a duração do fogo e a área queimada. As medidas foram tomadas em dois momentos: a um minuto após a ignição e a quatro minutos depois. Foram demarcados com estacas metálicas os quatro pontos cardinais, a 50cm do centro do aro para definir a direção do fogo. Após o primeiro minuto, com auxílio de uma régua graduada, realizou-se medidas simultâneas da altura e largura do fogo e área já queimada,

seguindo a direção dos quatro pontos cardinais. Este mesmo processo repetiu-se aos quatro minutos. Terminado o fogo, por apagamento natural ou induzido, mediu-se a área real queimada, descontando-se a área que demarcada com o aro metálico ($0,03\text{m}^2$). Foi necessário normalizar os dados para quatro minutos para realizar o cálculo de área atingida pelo fogo assumindo um avanço radial constante do fogo, uma vez que muitos dos fogos foram apagados antes de atingir os quatro minutos ou além dos quatro minutos. Com auxílio de fórmulas indicadas por Pyne et al. (1980) e Martin (1982), a partir das variáveis monitoradas foi calculada a área queimada. A análise dos dados e os cálculos foram feitos usando-se estatística paramétrica e não paramétrica com o programa estatístico Systat 10.

3. RESULTADOS

3.1. Pluviosidade, conteúdo de água no solo e mudanças biofísicas na floresta

A quantidade de água no solo acompanhou a mesma tendência que a quantidade de chuvas durante os anos de 1998 e 1999, na Fazenda Experimental Catuaba. Durante o período de seca (maio a setembro), o conteúdo de água no solo até 7m caiu de 1.968mm para 1.786mm em 1998 e, de 2.327mm para 2.048mm, em 1999. A maior quantidade de água no solo durante 1999 provavelmente deu-se, parcialmente, em função da alta pluviosidade durante a estação chuvosa (1.165mm – janeiro a abril); e a menor quantidade em 1998, foi devido a menor pluviosidade no mesmo período (1.006mm). A diferença nas chuvas é somente 160mm, quando a diferença no início é ~350mm. Também, durante a estação seca, entre o início de maio e final de setembro, 188mm de chuva caíram em 1998, e 444mm caíram neste mesmo período, em 1999 (Figs. 2 e 4d).

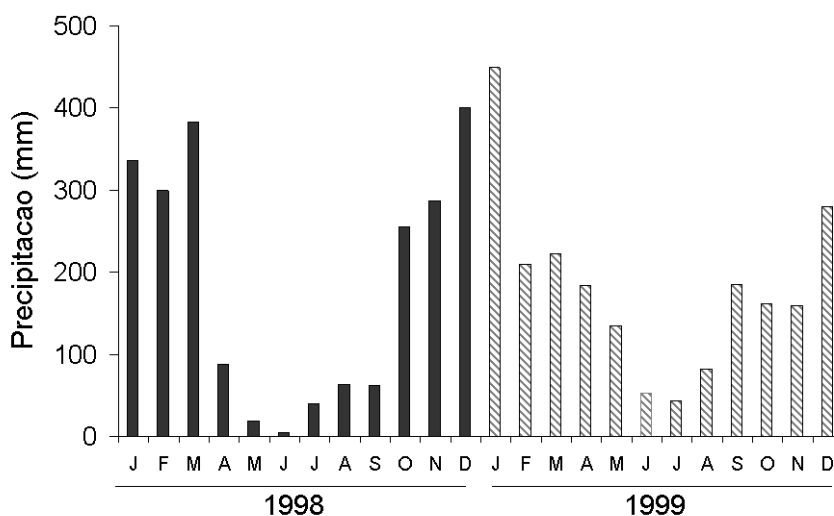


Figura 2. Pluviosidade mensal nos anos de 1998 e 1999. Total anual em 1998 foi 2.237mm; em 1999, 2.162mm.

Fonte: Instituto do Meio Ambiente do Estado do Acre-IMAC. Centro meteorológico localizado a 10km da área de estudo, Km 14, BR-364, Rio Branco-AC.

A redução do estoque de água no solo pode provocar a queda de folhas e, conseqüentemente, maior abertura do dossel nos dois tipos de floresta estudados. Entre julho e início de outubro de 1998, o índice médio de área foliar foi 4,5, e em 1999, 5,0 (Figs. 4 b e c).

A redução da água no solo durante a estação seca em 1998 e 1999 correlacionou-se positivamente em 1998 ($r^2=0,78$ $p<0,02$) e 1999 ($r^2=0,98$, $p<0,001$) com a redução do índice foliar nestas florestas, observada ao longo da estação seca (de julho ao início de outubro, Figura 3). Porém, é notável a diferença aproximadamente de ~400mm na estocagem de água no solo versus índice de área foliar entre 1998 e 1999.

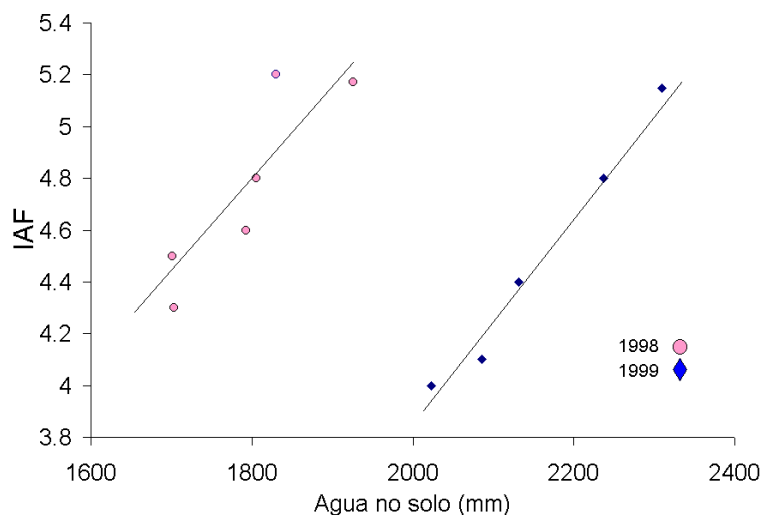


Figura 3. Relação entre a quantidade de água no solo (mm) e o índice de área foliar – IAF, Fazenda Catuaba – RB/AC- Brasil 1998 e 1999. Média total de água no solo (8 perfurações) e média de índice de área foliar (78 a 98 pontos). Para 1998 a regressão linear $r^2=0,78$; $p=0,019$. Correlação Tau de Kendall =0,73, $p<0,003$ e para 1999 regressão linear, $r^2=0,98$, $p=0,001$; Correlação Tau de Kendall =0,99, $p=0,001$. Coleta a cada 15 dias. Período de 02 junho a 14 outubro.

Os fatores biofísicos nas duas tipologias florestais da Fazenda Catuaba variaram nos dois anos de monitoramento (Fig. 4). Em 1998, a quantidade de serapilheira no chão foi superior que em 1999 (Fig. 4a) e o índice de área foliar refletiu uma diminuição na cobertura foliar em 1998 e 1999, acompanhando a tendência da diminuição do conteúdo de água no solo para os dois anos (Fig. 4b).

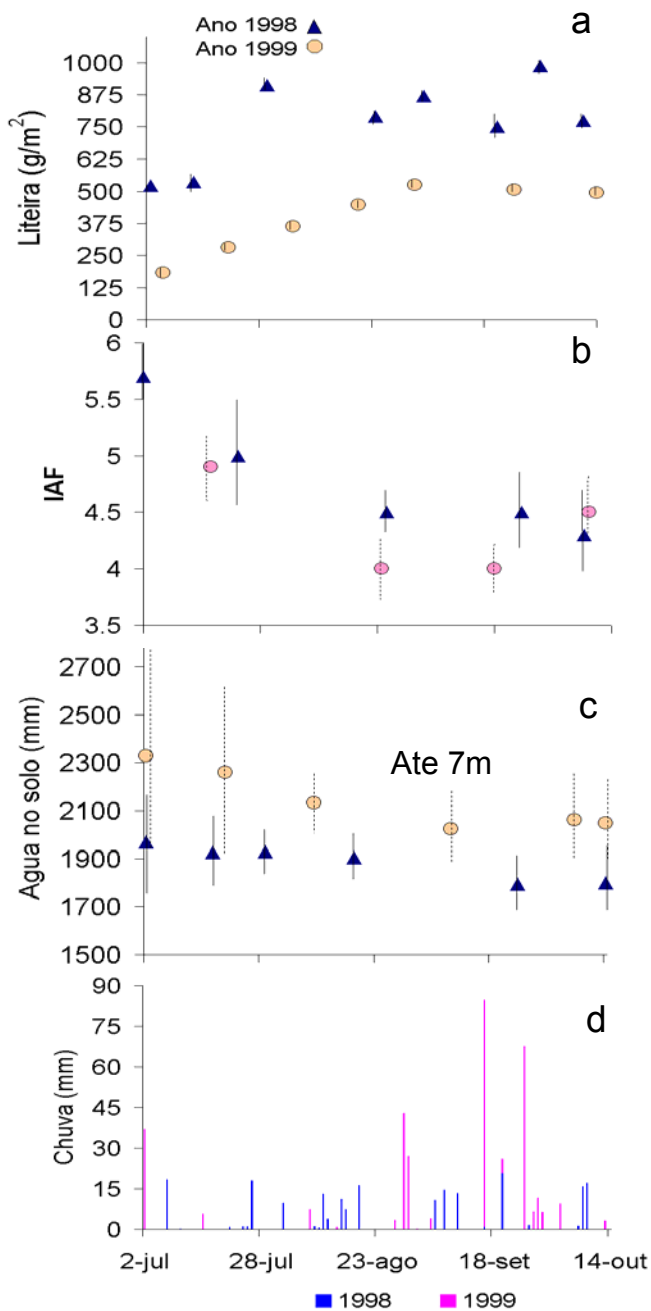


Figura 4. Características biofísicas das florestas da Fazenda Experimental Catuaba, no período seco de 1998 e 1999. a) Queda de serapilheira, média em gramas peso seco por m² (n=111 a 113 cada ano, erro padrão entre 35 a 75g), b) média do índice de área foliar – IAF (n=56 – 90, erro padrão entre 0,27 a 0,49), c) água no solo (n=8, erro padrão entre 105 a 207mm) e d) pluviosidade (mm). Período 02 de julho a 14 de outubro. Dados dos transectos: áreas A e B. As barras indicam o erro padrão das médias.

Embora tenha havido maior abertura do dossel em 1999, a altura da serapilheira não acompanhou esta mesma tendência, pois neste ano grandes clareiras foram originadas pela queda natural de árvores devido aos ventos fortes que ocorreram na área

(comunicação pessoal Sr. Portela, morador no local a mais de 15 anos) e que poderia ser um dos fatores desta tendência.

Houve redução do conteúdo de água no solo, durante a época seca nos dois anos consecutivos, maior porém em 1998 (Fig. 4c). Os valores diferenciados destas variáveis, assim como de outras, ocorreu em função da diferença da quantidade de chuva em 1998 e 1999 (Fig. 4d) não entanto também poderia ser devido ao acúmulo de água, pela maior quantidade de chuva que se deu no período de outubro a dezembro em 1998.

A abscisão foliar e seu acúmulo no serapilheira foi duas vezes superior no período de 2 de julho a 14 de outubro de 1998 (768g/m^2) que no mesmo período em 1999 (400g/m^2 , Fig. 4a), esta diferença está, por sua vez, relacionada com a diminuição na altura da serapilheira na floresta, de 6cm no período seco de 1998, para 4cm no mesmo período em 1999. A diminuição na densidade foliar do dossel, também permitiu uma maior penetração de radiação solar na floresta, aumentando a temperatura no seu interior e, conseqüentemente, diminuindo a umidade relativa. Em 1998, no período de julho a setembro, a umidade relativa do ar variou de 31% durante o dia a 92%, sendo que no mesmo período de 1999, variou de 72 a 99%. A umidade da serapilheira apresentou um padrão similar, sendo inferior na estação seca de 1998 (media=38% no período de junho a setembro), que no mesmo período em 1999 (media=57%).

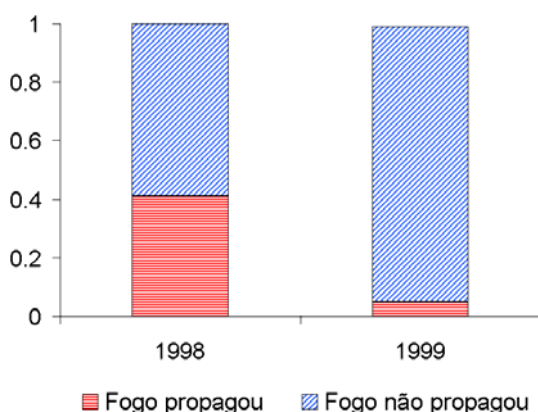


Figura 5. Proporção de fogos experimentais propagados em 1998 (n=130) e 1999 (n=75), na Fazenda Experimental Catuaba, na Amazônia Ocidental da Amazônia.

A susceptibilidade da floresta ao fogo variou em função dos parâmetros apresentados, para 1998 e 1999. O percentual de propagação de fogos experimentais em

1998, 41%, diferiu significativamente do percentual de propagação em 1999, 7%, (Teste Qui-Quadrado, $p < 0,001$ Fig. 5).

3.2. Tipologia florestal e sua influência sobre a susceptibilidade da floresta ao fogo (floresta com palmeiras e floresta com bambu).

A comparação das variáveis associadas com a propagação do fogo mostrou uma diferença significativa para o índice de área foliar (Prova Kolmogorov-Smirnov $D_{max}=0,51$; $p \leq 0,01$) e abertura do dossel ($D_{max}=0,39$; $p \leq 0,05$) entre as duas fitofisionomias (Tabela 1).

Tabela 1. Diferenças entre variáveis ambientais em dois tipos de florestas na Fazenda Experimental Catuaba – Floresta com palmeiras (n=32) e Floresta com bambu (n=23). Dados para fogos experimentais propagados do ano 1998. D_{max} é a diferença máxima relativa entre as duas florestas e p representa a probabilidade de erro tipo I, usando a Prova de Kolmogorov Smirnov (KS). Diferenças significativas: * $p \leq 0,1$ (Dtab: 0,35); ** $p \leq 0,05$ (Dtab: 0,39) e *** $p \leq 0,01$ (Dtab: 0,47)

Variável	media	Erro padrão	D_{max}
Umidade relativa (%):			
floresta aberta	64%	9%	0,32
floresta de bambu	63%	13%	
Temperatura (°C)			
floresta aberta	29 °C	4 °C	0,32
floresta de bambu	29 °C	4 °C	
Abertura de dossel (%) :			
floresta aberta	12%	6%	0,39 **
floresta de bambu	17%	8%	
Conteúdo de água na serapilheira (%)			
floresta aberta	17%	7%	0,23
floresta de bambu	15%	7%	
Índice de área foliar – IAF			
floresta aberta	4,7	0,5	0,51 ***
floresta de bambu	5,2	0,3	
Altura serapilheira (cm)			
floresta aberta	7cm	4cm	0,27
floresta de bambu	8cm	3cm	

Apesar da maior proporção de fogos propagados na floresta com bambu (32%, n=72) em relação à floresta com palmeiras (21%, n=133), a diferença não foi estatisticamente significativa (Qui-Quadrado, $p > 0,10$).

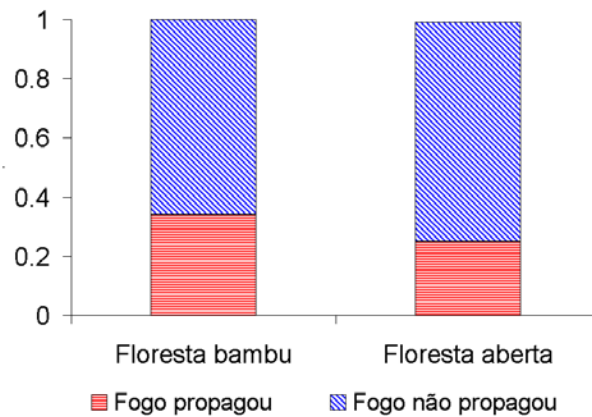


Figura 6. Percentual de ignição na floresta de bambu e na floresta aberta na Fazenda Experimental Catuaba. Total de fogos experimentais (205), bambu (n=72), e em floresta aberta com palmeira (n=133). Período de julho a outubro de 1998 e 1999.

3.3. Modelos de ocorrência de fogo

Para determinar quais fatores são mais importantes para prever a susceptibilidade da floresta ao fogo, aplicou-se regressão logística, usando como variável dependente binomial a propagação ou não dos fogos experimentais como função de oito variáveis (umidade relativa, altura de serapilheira, conteúdo de água da serapilheira, abertura de dossel, índice de área foliar, água no solo, dias sem chuva e umidade de *fuel sticks*). Foi considerada a propagação de fogo quando o fogo apresentava uma chama constante por até quatro minutos ou mais, com possibilidade de avanço, sendo controlado, quando espalhado rapidamente (média de altura de fogo, 30cm). Os fogos que não se propagaram foram aqueles com altura de chama menor que 20cm, sendo pouco constantes e apagavam por si só geralmente em tempo inferior a quatro minutos. Estes resultados poderiam ser devido à definição operacional de propagação e não propagação detalhada na descrição (seção 2.2.2).

A regressão logística tipo ‘Stepwise Forward’ foi utilizada para indicar quais variáveis influenciariam significativamente na propagação ou não dos fogos. Os resultados indicaram quatro deles: conteúdo de água na serapilheira, umidade relativa do ar na floresta, abertura de dossel e altura de serapilheira (Tabela 2).

Tabela 2. Estimativa de modelo de probabilidade de propagação do fogo usando quatro variáveis na Fazenda Experimental Catuaba – Rio Branco-AC, Regressão logística ‘stepwise forward’. Total de fogos experimentais para 1998 e 1999, n=205. p indica a probabilidade de erro tipo I.

Variáveis	Estimativa	Erro padrão	p
Constante	1,28	1,25	0,30
Quantidade de água na serapilheira	-0,7921	0,0212	0,0019
Altura de serapilheira	0,2723	0,8338	0,0011
Abertura de dossel	0,0883	0,0354	0,0126
Umidade relativa	-0,0404	0,0179	0,0238

Uma medida de poder destes modelos é o valor de "rho quadrado" (ρ^2), que age de forma semelhante ao valor de r^2 de regressão linear, com valores entre 0 e 1. Valores de ρ^2 entre 0,2 e 0,4 são significativos (Systat 2000). Outro indicador de significância é a probabilidade, p, da significância dos coeficientes e constante da regressão. Valores altos ($p > 0,1$) indicam pouca significância.

Realizaram-se combinações de pares das quatro variáveis mais significativas para identificar outros modelos (Tabela 3). Os resultados apontaram os modelos 2 (Umidade relativa, conteúdo de água na serapilheira: HR e AS), 3 (Umidade relativa, altura de serapilheira: HR e AbD), 5 (Altura de serapilheira e abertura de dossel: ALS e AbD) e 7 (conteúdo de água na serapilheira: AS) aqueles que apresentaram maior significância na previsão da propagação do fogo. (Tabela 4).

Tabela 3. Modelos de regressão logística derivados do total de fogos experimentais para 1998 e 1999, como funções de variáveis medidas no campo. 55 fogos se propagaram e 150 não se propagaram. ρ^2 de McFadden, onde valores entre 0,2 e 0,4 são considerados significativos (Hensher e Johnson, 1981). p é probabilidade de erro.

Modelo	Variáveis (independentes)	ρ^2	p
Geral	Umidade relativa, altura de serapilheira, conteúdo de água na serapilheira, abertura de dossel	0,37	0,306
1	Umidade relativa e abertura de dossel (HR e AbD)	0,19	0,065
2	Umidade relativa, conteúdo de água na serapilheira (HR e AS)	0,25	0,0003
3	Umidade relativa, altura de serapilheira (HR e ALS)	0,25	0,106
4	Conteúdo de água na serapilheira e altura de serapilheira (AS e ALS)	0,32	0,615
5	Altura de serapilheira e abertura de dossel (ALS e AbD)	0,20	0,0001
6	Conteúdo de água na serapilheira, abertura de dossel (AS e AbD)	0,30	0,748
7	Conteúdo de água na serapilheira (AS)	0,25	0,001

Os modelos: geral (HR, AbD, AS, e ALS), 1 (HR e AbD), 4 (AS e ALS) e 6 (AS e AbD) não foram incluídos porque o valor da constante p foi superior a 0,11. Estes resultados indicam que o conteúdo de água na serapilheira, umidade relativa, abertura de dossel e altura da serapilheira são as variáveis principais para estes modelos.

Tabela 4 Sumário dos modelos que mostram maior significância e explicação dos resultados de alastramento de fogo com função de 1 ou 2 variáveis independentes. Total de fogos experimentais para 1998 e 1999, n=205. p indica a probabilidade de erro tipo I.

Modelos	Variável	Estimativa	Erro padrão	p
02 (HR e AS)	Constante	3,815	1,075	0,003
	Umidade relativa	-0,033	0,016	0,037
	Conteúdo de água na serapilheira	-0,04	0,023	0,007
03 (HR e ALS)	Constante	1,04	1,119	0,106
	Umidade relativa	-0,070	0,016	0,001
	Altura de serapilheira	0.363	0,075	0,001
05 (ALS e AbD)	Constante	-3.576	0,501	0,001
	Altura de serapilheira	0,293	0,073	0,006
	Abertura de dossel	0.091	0,033	0,006
07 (AS)	Constante	1,760	0,492	0,001
	Conteúdo de água na serapilheira	-0,118	0,023	0,006

Dentre os modelos com somente uma variável, o do conteúdo de água na serapilheira apresentou a melhor relação com o modelo conceitual de propagação de fogo (Nepstad et al 1999b), porque ele influencia diretamente o potencial de combustão da serapilheira. Os dados são constantes com esta relação, o p^2 do modelo 7 (AS) apresenta-se alto (0,25). A regressão logística mostrou que o conteúdo de água na serapilheira foi à única variável, que por si só, serve como modelo de previsão de fogo.

3.4. Avaliação da previsão dos modelos

Verificou-se a capacidade de previsão desses modelos, sendo que o aumento de sucesso na previsão significa a fração de melhoramento da previsão em comparação com um modelo ao acaso (Systat, 2000). O resultado dessa análise (Tabela 5) indicou que os modelos prevêm com sucesso de 70% à 73% dos eventos totais (todos os dados combinados), e 42% à 47% dos eventos em que ocorreu a propagação dos fogos.

Tabela 5. Previsão dos acertos dos modelos determinada para a propagação do fogo dentro da floresta primária na Fazenda Experimental Catuaba – AC/Brasil. n=205 (propagação do fogo n=55 e n=150 não se propagaram).

Modelos	Variáveis	I (%)	II (%)	III (%)	IV (%)
Geral	Umidade relativa, conteúdo de água na serapilheira, abertura de dossel e altura de liteira	76	54	84.0	28
2 (HR e AS)	Umidade relativa e conteúdo de água na serapilheira	71	45	81	19
3 (HR e ALS)	Umidade relativa e altura de serapilheira	73	47	82	21
5 (ALS e Abd)	Altura de serapilheira e abertura de dossel	70	42	80	16
7 (AS)	Conteúdo de água na serapilheira	71	43	80	17

(I) Porcentagem de acerto geral

(II) Porcentagem de acerto para propagação do fogo

(III) Porcentagem de acertos para a não propagação dos fogos

(IV) Aumento em porcentagem dos acertos na previsão de fogos em relação do modelo ao acaso.

3.5. Influência do fogo sobre a área queimada

Para identificar as variáveis determinantes da velocidade de propagação do fogo, foi utilizada uma análise de regressão linear múltipla, tendo como maior dependente a área queimada em quatro minutos. Para fogos que se alastraram rapidamente e tiveram que ser apagados antes dos quatro minutos, estimou-se a área segundo o método discutido na sessão 2.2.2. Fogos que se apagaram naturalmente não foram incluídos. O sucesso dos fogos experimentais propagados foi testado estatisticamente para definir quais variáveis seriam as responsáveis na área queimada.

A regressão múltipla para o total de fogos experimentais propagados e apagados/controlados, considerando oito variáveis independentes e utilizando a regressão linear método ‘Stepwise/Backward’, mostrou três variáveis associadas (umidade relativa, abertura de dossel e altura de serapilheira). Deste modelo, a principal variável que influenciou a área queimada em quatro minutos é a umidade relativa (Tabela 6).

Tabela 6. Regressão linear múltipla da área queimada, método ‘Stepwise/Backward’. Total de fogos experimentais controlados ate 4 minutos (n=55) para 1998 e 1999. $r^2=0,27$ e $p<0,0001$.

Variável independente	Coefficiente	Coefficiente padrão	Erro padrão	p
Constante	4,427	0,001	1,438	0,003
Umidade relativa (%)	-0,063	-0,381	0,02	0,003
Abertura de dossel (%)	0,050	0,210	0,03	0,105
Altura de serapilheira (cm)	0,094	0,198	0,06	0,121

No modelo conceitual (Nepstad, 1999b), o conteúdo de água na serapilheira é um fator controlador da velocidade do avanço do fogo nas florestas na região. Comparou-se três casos para verificar se os dados deste estudo apoiam este modelo: a) todos os experimentos de 1998; b) os fogos que se propagaram em 4 minutos e c) experimentos de 1999.

A tendência dos três casos indica uma correlação inversa entre umidade e área queimada. A distribuição de freqüência dos dados de área queimada, porém, não segue a distribuição normal porque há muitas queimadas com áreas pequenas e poucas com áreas grandes (Teste de Lilliefors para normalidade, $p<0,001$ para os 3 casos). Tal divergência de normalidade sugere que uma análise de correlação não paramétrica seja a mais apropriada. A prova não paramétrica de Kendall (Tau) aplicada para testar a correlação entre umidade relativa e área queimada em 4 minutos, revelou os seguintes valores de Tau, comparáveis a “r” da correlação da prova paramétrica de Pearson: Todos os fogos de 1998 Tau=-0,40, n=130; no caso de fogos que propagaram há 4 minutos durante 1998 e 1999, Tau=-0,42, n=55; para o ano de 1999 todos os fogos, Tau=-0,361, n=70. Todas estas correlações negativas são significativas no nível $p<0,01$ (Siegel, 1988).

4. DISCUSSÃO

4.1. Na seca severa a floresta primária na região amazônica Sul Ocidental torna-se susceptível ao fogo?

A variação climática nos trópicos faz com que existam variações biofísicas interanuais nestas florestas. Nas florestas da Amazônia Sul-Ocidental estas variações são evidentes durante o período seco (junho a setembro).

O fator mais importante para as mudanças no comportamento da dinâmica da floresta e a propagação dos fogos neste estudo, foi a quantidade de chuvas no período de maior estiagem na região. As chuvas de 1998, na época seca (maio a setembro), totalizaram 188mm, e para 1999 foi mais que o dobro, 444mm. Dados de 16 anos apontam que as chuvas para esta mesma época foram em média de 336mm (max. 497mm e min. 188mm).

Os fogos experimentais se propagaram com maior frequência e intensidade em 1998 que em 1999, devido à seca prolongada em 1998. Uma situação semelhante ocorreu em 1987. Em entrevistas realizadas em 1998 e 2000 (Mendoza et al., 2001), os proprietários mais antigos apontaram que em 1987 os fogos na região saíram fora do controle e entraram de forma rasteira dentro das florestas estendendo por quilômetros. Caso similar também aconteceu em 1998 quando o fogo se propagou em áreas de florestas primárias próximas a áreas de conversão (floresta para áreas agrícolas e pecuária), ou em áreas próximas de queima de pastagem (Mendoza et al., 2001).

Os entrevistados também apontaram a época de seca prolongada como a causa principal deste evento. Em 1987 choveu uma média de 40mm/mês, semelhantemente ao ocorrido em 1998 (38mm/mês), durante o período de maio a setembro, favorecendo a propagação do fogo acidental.

Os dados deste estudo mostraram uma propagação de quase 50% dos fogos experimentais em 1998, e o conhecimento dos moradores da região indica que, esporadicamente, as florestas primárias no Leste do Estado do Acre na Amazônia Sul-Ocidental, tornam-se susceptíveis ao fogo.

4.2. Quais são as principais variáveis associadas com a susceptibilidade da floresta ao fogo nesta região?

Embora se saiba que o fogo depende do oxigênio, calor e combustível, entender a contribuição dos fatores ambientais na sua propagação em florestas, torna-se complexa (Whelan, 1995; Pyne, 1996). Os principais fatores enumerados por Whelan (1995) são o tipo de vegetação e os fatores físicos e químicos.

Quando há uma redução nas chuvas e uma seca prolongada a vegetação pode esgotar a água disponível no solo, o que promove uma acentuada decíduosidade foliar. É nesse período que o chão da floresta se torna vulnerável ao fogo (Nepstad et al., 1999). A análise estatística das oito variáveis medidas indicou quatro variáveis que são significativamente relacionadas com a propagação do fogo nas florestas da região: conteúdo de água na serapilheira, umidade relativa do ar dentro da floresta, abertura de dossel e altura da serapilheira.

Estudos realizados em 1986, na área do Rio Negro, indicaram que a susceptibilidade da floresta primária ao fogo, na região amazônica, somente poderia acontecer quando o conteúdo de água da serapilheira atingisse 12% (Uhl et al., 1988). Entretanto, os modelos encontrados neste estudo indicam que o conteúdo de água na serapilheira menor que 20% torna a floresta mais susceptível ao fogo, nesta região.

A área atingida pelo fogo durante 4 minutos (velocidade de propagação do fogo) está relacionada com a variável umidade relativa do ar dentro da floresta. Os resultados da análise de regressão sugerem que esta variável controla a velocidade de propagação de fogo nestas florestas.

4.3. Como essa susceptibilidade varia entre floresta aberta com palmeiras e de bambu?

As florestas na região apresentam mosaicos fisionômicas florestais especialmente pela floresta com palmeiras e florestas abertas com bambu. Segundo Nelson et al., (1994), aproximadamente 45% do Estado é dominado por áreas de bambu.

Há tanto diferenças fisionômicas quanto estruturais entre estes dois tipos de florestas, e as análises comparativas indicam que o índice de área foliar e a abertura do dossel são significativamente diferentes. Entretanto, para a propagação do fogo as diferenças não foram significativas entre floresta com palmeiras e a floresta com bambu.

A definição operacional binária de alastramento ou não alastramento na realização deste experimento poderia ser um dos fatores que poderiam estar mascarando a diferença entre estes dois tipos de florestas. A realização de mais experimentos nestas áreas é importante, dada as características de mortalidade que apresenta o bambu. Segundo Silveira (2001), o bambu apresenta um ciclo de vida de aproximadamente 30 anos, com mortalidade maciça. Este evento poderia modificar o material disponível para o alastramento do fogo.

A diferença da tipologia florestal e a região influenciam no aumento ou diminuição de incêndios florestais. No caso das florestas temperadas sofrem maior quantidade de incêndios em épocas de maior seca, as camadas de serapilheira são muito altas devido a perda de folhas e ramos que sofrem estas florestas (Pyne, 1995 e Whelan, 1995).

4.4. Qual é o modelo estatístico que melhor explica a propagação do fogo na região?

Quão útil é o modelo para previsão de propagação do fogo?

A finalidade desta pesquisa é tanto entender os fatores responsáveis pela susceptibilidade ao fogo das florestas do Acre, quanto gerar modelos de previsão que possam facilitar a prevenção ou controle do fogo na floresta. Tais modelos precisam apresentar certo grau de confiabilidade e também precisam ser factíveis para que possam ser implementados. Isto significa que as variáveis independentes precisam ser medidas com facilidade e baixo custo.

Como regra geral, a aplicação do princípio de Ockham ajuda na seleção dos modelos. Este princípio declara: “a explicação não deve ser mais complexa que o necessário”. Em outras palavras, na escolha de explicações onde todos são igualmente prováveis, escolha a mais simples. Além deste princípio de simplicidade, precisa-se incluir na seleção dos modelos, a facilidade de medir estas variáveis nas florestas regionais. Isto permitiria que organizações governamentais e não governamentais, pesquisadores e sociedade em geral utilizem os modelos para monitorar a susceptibilidade destas florestas ao fogo.

A análise dos 4 modelos de previsão listadas nas Tabelas 7, 8 e 10, indica o conteúdo de água na serapilheira, umidade relativa do ar sob o dossel, altura da serapilheira e abertura de dossel como variáveis mais significativas para previsão de ocorrência e velocidade de propagação de fogos dentro das florestas regionais. O modelo 2, usando

umidade relativa do ar na floresta e conteúdo de água na serapilheira, o modelo 3 usando altura de serapilheira e umidade relativa e o modelo 5, altura de serapilheira e abertura de dossel, seria os mais recomendáveis. Estas variáveis são fáceis de medir. Em termos de simplicidade, o conteúdo de água na serapilheira pode servir por si só como indicador de susceptibilidade à propagação dos fogos. Quando cai abaixo de 20% é um sinal de alerta. A variável umidade relativa do ar na floresta explica significativamente a velocidade de propagação do fogo na área queimada em quatro minutos.

Em outros tipos de florestas de coníferas (pino araucárias) e latifoliadas decíduas (eucalipto) as experiências tem demonstrado que a probabilidade de ignição é praticamente nula para a maioria dos materiais combustíveis, quando o teor de umidade do combustível está acima de 25%. Esse limite é denominado "umidade de extinção" (Soares, 1982). Em experimentos realizados no Canadá e em outras florestas dos Estados Unidos, os valores de serapilheira fina contempla este limite acima de 30 % (Pyne et al. 1996).

A variável umidade relativa do ar na floresta explica significativamente a velocidade de propagação do fogo medida na área queimada em quatro minutos. Existe uma troca contínua de vapor de água entre a atmosfera e o material (combustível) depositado no piso da floresta. O material seco absorve água de um ambiente úmido e libera vapor de água quando o ar está seco. Durante os períodos extremamente secos, a baixa umidade pode inclusive afetar o conteúdo de umidade do material verde. Nas florestas temperadas a umidade relativa do ar é um elemento preponderante na determinação do grau de dificuldade no combate ao incêndio florestal. Quando a umidade relativa do ar desce ao nível de 30%, torna-se extremamente difícil combater o incêndio (Vélez, 2000).

Os resultados dos modelos obtidos facilitam a utilização das quatro variáveis para serem monitoradas de forma simples e de baixo custo pelas entidades governamental e não governamental. O material a ser utilizado pode ser encontrado facilmente no comércio local, à exceção do psicrômetro digital e densiômetro. Para medir a altura de liteira precisa-se de uma régua graduada; para medir o conteúdo de umidade da liteira precisa-se de uma balança e uma estufa de secagem; a umidade relativa do ar a baixo do dossel pode ser calculada com um psicrômetro manual.

5. CONCLUSÕES

Os dados pluviométricos de 1998 indicam que este ano apresentou a maior seca dos últimos 16 anos; sendo também este o ano em que os fogos experimentais, que propagaram, foram mais intensos ou mais freqüentes. Portanto, acreditamos que em secas severas, as florestas desta região se tornam susceptíveis ao fogo.

A umidade relativa do ar e a quantidade de água na serapilheira, abertura de dossel e altura de serapilheira foram os fatores mais críticos para a susceptibilidade ao fogo, como mostraram os modelos 2, 3,5 e 7.

Embora não tenha sido detectada diferença significativa na susceptibilidade ao fogo entre as florestas com palmeiras e com bambu, recomenda-se mais estudos em outras áreas. A existência de 180.000km² de florestas com bambu na Amazônia Sul-Occidental, e o maior percentual de fogos se alastrando nos experimentos seriam razões para a realização de mais experimentos de fogo em outros lugares.

A quantidade de água na serapilheira (modelo 7) foi o modelo mais simples que previu a susceptibilidade das florestas ao fogo, porém, para a utilização deste modelo, necessitamos estufas para determinar o conteúdo de água na serapilheira, o que dificultaria sua utilização em toda região. Por outro lado, a umidade relativa do ar sob o dossel e a altura de liteira (modelo 3) permitiria estimar a susceptibilidade, uma vez que as medidas de umidade relativas do ar sob o dossel poderiam ser medidas com psicrômetros manuais, e a altura da serapilheira seria medida usando uma régua graduada simples, ou poderiam ser estimados através de medidas feitas em estações meteorológicas em associação com estimativas de IAF baseado em análises do balanço hídrico do solo (e.g. Nepstad et al. 2002).

Uma vez que a ignição inicial nas florestas na região não ocorre espontaneamente, sugere-se um programa de amostragem do fogo em áreas de controle próximas as áreas de maiores taxas de conversão de florestas na região, pois os fogos de origem antropogênicos são os responsáveis pelo início dos fogos acidentais dentro das florestas.

6. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Barbosa, R. I.; Fearnside, P.M. 2000. As lições do fogo. *Ciência Hoje*, **27** (157), 35-39.

Behling, H.; Costa, M.L. da .2000. Holocene enviromental changes from the Rio Curua record in the Caxinauana region, Eastern Amazon Basin. *Quaternary Research*, **53** (3), 369 – 277.

Bersch, D.; Pereira, V. 2000. Vegetação, Recursos Naturais e Meio Ambiente. In: *Zoneamento Ecológico – Econômico do Acre*. IMAC, Rio Branco. **I**, (6) p50

Brown, K.J. 1974. *Handbook for inventorying downed woody material*. Utah, Sep. 24 p. (manual).

Couto, E.A.; Candido, J.F. 1980. *Incêndios florestais UFV*, Viçosa. 101p

Cutini, A.; Matteucci, G.; Mugnozsa, G.S. 1998. Estimation of leaf index with the Li-Cor LAI 2000 in deciduous forests. *Forest Ecology and Management*, **105**, 55-65

Dias, M. del C. V.; Nepstad, D.C.; Mendonça, M.J.C.; Motta, R.da; Alencar, A.; Gomes J.C.; Ortiz, R.A. 2002. O preço oculto do fogo na Amazônia: Os custos econômicos associados as queimadas e incêndios florestais. 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. Belem, 45p

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA – EMBRAPA 1997 Centro Nacional de pesquisa de solos. *Manual de métodos de análises de solo/Centro Nacional de Pesquisa de Solos*. – 2. ed. Rio de Janeiro. 212p.:il. (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1).

Holdsworth, A.R.; Uhl, C. 1997. Fire in Amazonian selectively logged rain forest and the potential for fire reduction. *Ecological Applications*, **7** (2), 713-725.

Kauffman, J.B.; Uhl, C.; Cummings, D.L. 1988. Fire in the Venezuela Amazon. 1: Fuel biomass and fire chemistry in the evergreen rainforest of Venezuela. *Oikos*, **53**, 167-175.

Martin, E.A. 1982. Calculation and interpreting forest fire intensities. *Can. Journal of Botany*, **60**, 349–357.

- Meggers, B.J. 1994a. Pre-Columbian Amazonia. *Research Explore*, **10** (04), 399-421.
- Meggers, B.J. 1994b. Archeological evidence for the impact of mega-El Niño events on Amazonia during the past two millennia. *Climatic Change*, **28**, 321–328.
- Mendoza, E.R.H; Brown, I.F.; Nepstad, D.C.; Selhorst, D.; Da Silva, P.J.; Vasconzelos S.; Da Costa, I. 2001. The impact of accidental fires in southwestern Amazonian agroecosystems and forests. A case study in Acre State, Brazil. *Meeting of the Human Dimensions of Global Environmental Change Research Community* Rio De Janeiro, Brazil.
- Nelson, B.W. 1994. Natural forest disturbance and change in the Brazilian Amazon. *Remote Sensing Reviews – INPE* , **10**, 105–125.
- Nelson, B.M.; N. Irmão (1998). Fire penetration in standing Amazon Forest. In: Brazilian Remote Sensing Symposium 9; 1998, Santos. *Anais: INPE*, 13-18.
- Nelson, B.W.; Kapos, V.; Adams, J.B.; Oliveira, W.J.; Braun, O.P.G.; Amaral, I.L. do. 1994. Forest disturbance by large blowdowns in the Brazilian Amazon. *Ecology*, **75** (3) 853–858.
- Nepstad, D.C.; Moutinho, P.R.S.; Negreiros, G.; Vieira, S. 1995 Forest recovery following pasture abandonment in Amazonia: Canopy seasonality, fire resistance and ants. In, D. Repport (ed) evaluating and monitoring the health of large-scale ecosystems. *NATO ASI series*, I (128), 333-349.
- Nepstad, D.C.; Veríssimo, A.; Alencar, A.A.; Nobre, C.; Lima, E.; Lefebvre, P.; Schlesinger, P.; Potter, C.; Moutinho, P.; Mendoza, E.; Cochrane, M.; Broos, V. 1999. Large-Scale impoverishment of Amazonian forest by logging and fire. *Nature*, **398**, 505-508.
- Nepstad, D.C.; Moreira, A.G.; Alencar, A.A. 1999b. *A floresta em chamas: Origens, impactos e prevenção de fogo na Amazônia*. Programa piloto para a roteção das florestas tropicais do Brasil, Brasília, Brasil. 202p.

Piperno, D.R.; Becker, P. 1996. Vegetational history of a site in the Central Amazon Basin derived from phytolith and charcoal records from natural soils. *Quaternary Research*, **45**, 202–209.

Pyne, S.J.; Andrews, P.L.; Laven, R.D. 1996. *Introduction to Wildland Fire*: 2. ed.. John Wiley & Sons, New York. 769 p.

Richey, J.E.; Nobre, C.; Deser, C. 1989. Amazon river discharge and climate variability: 1903 to 1985. *Science*, **246**, 101-103.

Salimon, C.; Brown, I.F. 2000. Secondary forests in Western Amazônia: Significant sinks for carbon released from deforestation? *Interciencia*, **25** (4), 198-199.

Sanford, R.L. Jr; Saldarriaga, J.; Clark, K.E.; Uhl, C.; Herrera, R. 1985. Amazon rain – forest fires. *Science*, **227**, 53-55.

Santos, G.M.; Gomes, P.R.S.; Anjos, R.M.; Cordeiro, B.J.; Sifeddine, A.; Tada, M.L.; Cresswell, R. G. 2000. Field LK 14c AMS dating of fires in the central Amazon rain forest. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, **172**, 761-766.

Siegel, S.; Castellan, N.J. 1988. *Non Parametric Statistics for the Behavioral Sciences*. McGraw-Hill, Sao Paulo. 399p.

Shimabukuro, Y.E.; Krug, T.; Santos, J.R. do; Novo, E. de M.; Yi, J.L.R. (2000) Roraima o incêndio visto do espaço. *Ciência Hoje*, **27** (157), 32 - 34

Silveira M (1998) *Distribuição de floresta de bambu no oeste da Amazônia: Dinâmica biológica em floresta de bambu no Parque Nacional da Serra do Divisor*. Projeto de Tese (Doutorado em Ecologia-Universidade Federal de Brasília), Brasília.

Silveira, M. 1999. Ecological aspects of bamboo-dominated forest in southwest Amazon, from an ethnoscience perspective. *Ecotropica*, **5**, 213-216.

Silveira, M. 2001. A floresta aberta com bambu no Sudoeste da Amazônia: Padrões e processos em múltiplas escalas. Tese de doutorado. Departamento de Ecologia, Programa de Pós-graduação em Ecologia, Universidade de Brasília. Brasília 2001.

Soares, V. R. 1982. Prevenção e controle de incêndios florestais. Fupef, Curitiba, 1982.:
<http://www.ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/propag.htm>

Sternberg, H.O.R. 1987. Aggravation of floods in the Amazon River as a consequence of deforestation? *Geografiska Annaler*, **69** (1), 201–219.

SYSTAT 10. 2000. *Statistics I*. SPSS. Chicago, Ill.. 150p

Uhl, C.; Kauffman, B.; Cumings, D.L. 1988. Fire in the Venezuela Amazon 2: Environmental conditions necessary for forest fire in the evergreen rainforest of Venezuela. *Oikos*, **53**, 176–184.

Uhl, C.; Kauffman, J.B. 1990. Deforestation, fire susceptibility, and potential tree responses to fire in the Eastern Amazon. *Ecology*, **71** (2), 437-449.

Velez, R. 2000. La defensa contra incêndios forestales. Fundamentos y experiências. McGrawHill.: (http://www.incendiosforestales.org/carac_if_main.thm)

Whelan, R. J. 1995. *The Ecology of Fire.*, Cambridge University Press 1995, New York 346p.

Zakia, M.J.B. 2000. Clima e meteorologia In: *Zoneamento Ecológico – Econômico do Acre*. Imac, Rio Branco. **I**, (7) 31p.