



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI  
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA  
INSTITUTO GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**Carla Daniele Furtado da Costa**

**VULNERABILIDADE AO FOGO DE FLORESTAS INTACTAS E  
DEGRADADAS NA REGIÃO DE SANTARÉM - PARÁ**

**Belém – PA**

**2012**

**CARLA DANIELE FURTADO DA COSTA**

**VULNERABILIDADE AO FOGO DE FLORESTAS INTACTAS E DEGRADADAS  
NA REGIÃO DE SANTARÉM - PARÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Pará – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Amazônia Oriental – Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito parcial para obtenção de grau ao nível de Mestrado.

Orientadora: Dr<sup>a</sup>. Ima Célia Guimarães Vieira, Museu Paraense Emílio Goeldi–Brasil.

Coorientador: Luke Thomas Wyn Parry, Lancaster Environment Centre - Lancaster University - Inglaterra.

**Belém – PA  
2012**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

---

C837v Costa, Carla Daniele Furtado da

Vulnerabilidade ao fogo de florestas intactas e degradadas na região de Santarém - Pará / Carla Daniele Furtado da Costa; Orientadora: Ima Célia Guimarães Vieira; Coorientador: Luke Thomas Wyn Parry - 2012.  
58 fl.: il.

Dissertação (mestrado em ciências ambientais) – Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emilio Goeldi e EMBRAPA, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2012.

1. Degradação ambiental - Pará. 2. Inflamabilidade da floresta. 3. Efeito de borda. 4. Manejo de fogo. 5. Impacto do fogo nas florestas. I. Vieira, Ima Célia Guimarães, *orient.* II. Parry, Luke Thomas Wyn III. Universidade Federal do Pará. IV. Título.

CDD 22º ed.: 363.7009811 5

---

CARLA DANIELE FURTADO DA COSTA

**VULNERABILIDADE AO FOGO DE FLORESTAS INTACTAS  
E DEGRADADAS NA REGIÃO DE SANTARÉM - PARÁ**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. Área de Ecossistemas Amazônicos e Dinâmicas Sócio-Ambiental


Orientador: Dra. Ima Célia Guimarães Vieira

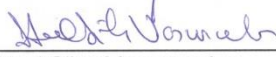
Data de aprovação: 31 / 08 / 2012

Banca Examinadora:

  
Orientadora  
Ima Célia Guimarães Vieira  
Museu Paraense Emílio Goeldi

  
Izildinha Souza Miranda  
Universidade Federal Rural da Amazônia

  
Everaldo Barreiros de Souza  
Universidade Federal do Pará

  
Steel Silva Vasconcelos  
EMBRAPA – Amazônia Oriental

À minha superação mental e física no  
momento que pensei em desistir

DEDICO,

À minha família **Arlete, Arlei e Edson  
Andrei**

Pelo apoio, compreensão e incentivo  
incondicional.

Ao meu assistente e companheiro de campo  
**Nego** (*in memoriam*)

Sem o qual não teria conseguido realizar  
meu experimento, por seu conhecimento e  
experiência,

OFEREÇO.

## AGRADECIMENTOS

Sem palavras para agradecer aqueles que direta ou indiretamente me ajudaram na conquista de mais esse objetivo, é impossível deixar de reconhecer que não conseguimos nada sozinhos, sempre vamos contar com alguém para alguma coisa, e temos que ter humildade para agradecer e sabedoria para aprender e ensinar.

Primeiramente agradeço a Deus, por me permitir viver este momento, e por me dar sabedoria e discernimento diante das dificuldades encontradas.

Ao Projeto Rede Amazônia Sustentável, por esta oportunidade de realizar um trabalho com profissionais altamente qualificados, meu muito obrigada à Toby Gardner, Joyce Ferreira, Ima Célia Guimarães (minha orientadora), Luke Parry (Co-orientador) e Jos Barlow, obrigada pela confiança, paciência, e ajuda nos momentos mais difíceis.

Ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais pela qualificação e preparação durante dois anos de mestrado, por todo conhecimento e experiência adquirida nesta fase.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro.

Às fontes de financiamento de iniciativa estrangeira: Darwin Initiative do DEFRA – Governo Britânico; The Nature Conservancy- TNC; Natural Environment Research Council (NERC); Royal Society (Reino Unido); E Iniciativa brasileira: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia– INCT, Sub-projeto: Análise custo-benefício entre a conservação da biodiversidade e o desenvolvimento econômico na Amazônia brasileira, e Sub-projeto: Determinando os custos sociais e ambientais das queimadas em florestas nativas do Pará.

Ao meu companheiro de campo, Nego (*in memoriam*), que com sua experiência e dedicação ajudou na elaboração do experimento e realização deste, agradeço por cada segundo que estive ao seu lado, aprendendo e adquirindo experiência.

À toda minha família, por ter me dado o apoio e amor incondicional e me proporcionar essa conquista, sem qual a realização deste sonho seria mais difícil.

À família Coelho, por todo apoio e confiança.

Aos meus amigos e companheiros de mestrado Marcela Pompeu, Josi Monteles, Wesley Rodrigues, Pedro Perrej, Carol Melo e Renata Kelen pelo companheirismo, lealdade, incentivo e apoio um ao outro nos momentos de dificuldades, sem o quais esta caminhada seria mais atribulada.

Aos meus amigos da vida, Vanessa Voloski, Veridiana Silva, Rafaella Simão, Josiane Sarmiento, Karoline Gonçalves, Rodrigo Bezerra, André Rodrigues, André Bessa pela força, paciência e incentivo incondicionais.

Ao grande e eterno mestre Leonardo Neves, que me acompanha desde a graduação, pelo apoio e incentivo, eu agradeço.

Á todos que aqui citados ou não, àqueles que ficaram na torcida, que me auxiliaram na realização deste, MEU MUITO OBRIGADA!!

*"O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis."  
(José Alencar)*



## RESUMO

A Amazônia se constitui atualmente como a maior floresta tropical úmida remanescente e contínua do mundo e abriga a maior diversidade de plantas e animais dentre todos os biomas da Terra, constituindo de suma importância para a manutenção da biodiversidade. A região tem passado por mudanças significativas nas últimas décadas, mudanças que são resultantes principalmente das alterações da paisagem/cobertura vegetal, impulsionadas pelo aumento populacional e práticas de manejo inadequado da terra, resultado de desmatamentos, queimadas, mudanças nas atividades agrícolas, pecuária, exploração madeireira, programas de colonização, abertura de estradas e problemas latifundiários. Dentre esses fatores, as queimadas e incêndios florestais se tornam os problemas mais críticos para a região, pois o manejo do fogo pelos produtores rurais na maioria das vezes é feito de forma inadequada, escapando de controle e provocando prejuízos econômicos, sociais e ecológicos. Florestas que já queimaram uma vez ficam mais susceptíveis a novos incêndios, pois tornam-se mais inflamáveis devido a modificação em sua estrutura do dossel, na dinâmica de umidade relativa do ar, temperatura do ar e no combustível fino no chão da floresta. Sendo assim, objetivou-se neste trabalho investigar os padrões diurnos de inflamabilidade de florestas intactas e degradadas na região de Santarém – PA, área de grandes alterações no padrão de uso do solo, com intensas atividades agrícolas e agropecuárias, região que apresenta também número significativo de focos de incêndios. Observou-se que as florestas intactas da região são significativamente menos inflamáveis do que as florestas degradadas, e as bordas das florestas degradadas são mais inflamáveis que seu interior, comprovados por dados da dinâmica de umidade relativa e temperatura do ar, umidade da Serapilheira e taxa de abertura do dossel. Esses dados foram associados com dados socioeconômicos através de entrevistas semi estruturadas, com o objetivo de saber como os produtores rurais manejam o fogo, onde os resultados mostraram que o treinamento de manejo de fogo influencia significativamente na adoção de boas práticas de uso de fogo, como por exemplo, não colocar fogo em horário crítico (entre 11 e 15 horas para região estudada), fazer aceiro, queimar contra o vento, esperar a primeira chuva, entre outros. O tamanho da propriedade não influencia significativamente no uso adequado de fogo, porém os pequenos produtores são os que mais o utilizam em suas atividades produtivas, uma vez que este se constitui a forma mais barata para limpar e preparar a terra. Neste sentido, este trabalho visa mostrar a necessidade de investimento em pesquisas sobre a inflamabilidade das florestas, o aperfeiçoamento das análises de satélites associadas às pesquisas em campo, como uma forma de amenizar e talvez solucionar os problemas das queimadas na Amazônia, além de colaborar para adoção de uma política de incentivo a redução das queimadas pelos produtores rurais, aliadas ao treinamento de uso do fogo, acesso a informação e tecnologias alternativas ao manejo de fogo.

Palavras-chave: Degradação ambiental – Pará. Inflamabilidade da floresta. Efeito de borda. Manejo de fogo. Impacto do fogo nas florestas.

## ABSTRACT

The Amazon is constituted today as the largest tropical rain forest remnant and continuous world and home to the largest diversity of plants and animals of all the Earth's biomes, and is critical to maintaining biodiversity. The region has undergone significant changes in recent decades, changes that are resulting mainly from changes in the landscape / vegetation cover, driven by population growth and inappropriate management practices of land, the result of deforestation, fires, changes in agricultural activities, livestock, farm logging, colonization programs, opening of roads and problems landowners. Among these factors, burning and forest fires becomes the most critical problem for the region, for fire management by farmers in most cases is done improperly, escaping control and causing economic damage, social and ecological. Forests that have burned since become more susceptible to new fires, as they become more flammable due to the change in canopy structure, dynamics of relative humidity, air temperature and fine fuel on the forest floor. Thus, this study aimed to investigate the diurnal patterns of flammability of intact and degraded forests in the region of Santarém - PA, area of major changes in land use pattern, with intense agriculture and farming, the region also presents significant number outbreaks of fire. It was observed that intact forests in the region are significantly less flammable than the degraded forests, and edges of degraded forests are more flammable than inside, supported by data on the dynamics of relative humidity and air temperature, humidity and rate of litter opening the canopy. These data were associated with socioeconomic data through interviews, in order to learn how farmers manage the fire, where the results showed that the training of fire management significantly influence the adoption of best practices in use of fire, for example, do not put fire in time critical (between 11 and 15 hours for the study area), making steel, burn against the wind, waiting for the first rain, among others. The size of the property does not significantly influence the proper use of fire, but small farmers are the ones who use it in their productive activities, since this constitutes the cheapest way to clean and prepare the land. In this sense, this paper aims to show the need for investment in research on the flammability of forests, improvement of the analysis of satellites associated with field research as a way to soften and perhaps solve the problem of fires in the Amazon, and contribute to adoption of a policy of encouraging the reduction of burning by farmers, coupled with the use of fire training, access to information technologies and alternatives to fire management.

Key-words: Environmental degradation. Flammability of the forest. Edge effects. Fire management. Impact of forest fires.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -Mapa da área de estudo, região de Santarém, estado do Pará, com as microbacias do Projeto Sustentabilidade dos usos da terra na Amazônia. ....	26
Figura 2 - Desenho amostral do experimento na Região de Santarém, PA – Projeto Sustentabilidade dos usos da terra na Amazônia.....	31
Figura 3: Abertura média do dossel de Floresta Intacta $\pm$ erro padrão em floresta intacta, região de Santarém, Pará. (N = 6) .....	37
Figura 4: Valores de abertura média do dossel $\pm$ erro padrão, encontrados em florestas degradadas da região de Santarém, Pará, onde BO = área de borda e TR = interior do transecto na floresta. (N = 28) .....	38
Figura 5: Temperatura média do Ar $\pm$ erro padrão do interior de floresta intacta, floresta degradada e borda de floresta degradada até 100 metros, na região de Santarém, Pará. (N FD = 28, N FI = 6).....	39
Figura 6: Temperatura do ar $\pm$ erro padrão em floresta degradada direção borda-Interior da floresta, na região de Santarém, Pará. (N FD = 28) .....	40
Figura 7: Padrão diurno de temperatura do ar registrado no interior de floresta intacta e degradada, região de Santarém, Pará. (N FD = 28, N FI = 6). .....	41
Figura 8: Umidade ao longo do dia no interior de floresta intacta, e de floresta degradada e borda de floresta degradada até 100 metros, região de Santarém, Pará. (N FD = 28, N FI = 6) .....	42
Figura 9: Umidade relativa do ar registrada em floresta degradada direção borda-interior da floresta, região de Santarém, Pará. (N FD = 28) .....	43
Figura 10: Padrão diurno de umidade relativa do ar registrada em floresta intacta e degradada, na região de Santarém, Pará. (N FD = 28, N FI = 6).....	43
Figura 11: Umidade do combustível fino (Serapilheira) no interior de floresta intacta e degradada e borda de floresta degradada até 100 metros ao longo do dia, região de Santarém, Pará. (N FD = 28, N FI = 6) .....	44
Figura 12:Umidade de combustível fino (Serapilheira) em floresta degradada direção borda-interior da floresta, região de Santarém, Pará. (N FD = 28).....	46
Figura 13:Horário em que os produtores rurais da região de Santarém-PA frequentemente manejam fogo em suas atividades agrícolas. (N = 200).....	48

## LISTA DE TABELA

Tabela 1: Resultados para Abertura de Dossel em Floresta Degradada na região de Santarém, Pará, com Teste <i>Mann-Whitney</i> .....	38
Tabela 2: Resultados para temperatura do ar do interior de floresta degradada e bordas, na região de Santarém, Pará, com teste <i>Mann-Whitney</i> .....	41
Tabela 3: Resultados para umidade relativa do ar do interior de floresta degradada e borda, na região de Santarém, Pará, com Teste Mann-Whitney .....	42
Tabela 4: Resultados para Umidade de Combustível Fino do interior e bordas de Floresta Degradada, região de Santarém, Pará, com Teste Mann-Whitney .....	45
Tabela 5: Influência de treinamento de fogo na adoção de boas práticas de manejo do fogo na região de Santarém, Pará .....	49
Tabela 6: Influência de tamanho da propriedade na adoção de boas práticas de manejo do fogo na região de Santarém, Pará .....	49

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 ASPECTOS GERAIS SOBRE A REGIÃO AMAZÔNICA .....	15
1.2 SECAS SEVERAS NA AMAZÔNIA .....	18
1.3 Uso e consequências do fogo na Amazônia .....	19
1.4 Estudos de Inflamabilidade da Floresta.....	22
2 OBJETIVOS E HIPÓTESES .....	24
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS: .....	24
2.2 HIPÓTESES QUE NORTEIAM A PESQUISA.....	24
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1 O PROJETO .....	25
3.2 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	26
3.2.1 Local de estudo – Santarém/PA .....	26
3.2.2 Ocupação da região .....	27
3.2.3 - Clima de Santarém .....	28
3.2.3 – Relevo.....	28
3.2.4 – Solos .....	29
3.2.5 – Hidrografia .....	29
3.2.6 - Cobertura Vegetal .....	29
3.3 SÍTIOS DE ESTUDO.....	30
3.4 EXPERIMENTO DE INFLAMABILIDADE .....	31
3.4.1 Combustível Fino - Serapilheira.....	31
3.4.2 Medição de Temperatura do Ar, Umidade Relativa do Ar e Precipitação .....	32
3.4.3 Estimativa da Porcentagem de Abertura do Dossel.....	33
3.5 DADOS SOCIOECONÔMICOS – QUESTIONÁRIOS .....	34
3.6 MÉTODOS DE ANÁLISE DOS DADOS.....	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	36
4.2 ESTIMATIVA DA ABERTURA DO DOSSEL .....	37
4.3 TEMPERATURA DO AR .....	39
4.4 - UMIDADE RELATIVA DO AR.....	42
4.5 - UMIDADE DO COMBUSTÍVEL FINO – SERAPILHEIRA.....	44
4.6 RELAÇÕES ENTRE PRÁTICAS DE MANEJO E RISCO DE INCÊNDIOS.....	47

4.6.1 Influência de treinamento de uso de fogo e tamanho das propriedades na adoção de boas práticas de manejo de fogo.....	49
<b>4.6.2 O efeito de borda nas florestas degradadas e sinergia das interferências.....</b>	<b>50</b>
5 CONCLUSÕES.....	54
REFERÊNCIAS .....	55

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 ASPECTOS GERAIS SOBRE A REGIÃO AMAZÔNICA

A Amazônia se constitui atualmente como a maior floresta tropical úmida remanescente e contínua do mundo e abriga a maior diversidade de plantas e animais dentre todos os biomas da Terra (RAVEN, 1988). O bioma Amazônia é de suma importância para a manutenção da biodiversidade e estende-se ao longo de nove países da América do Sul ocupando uma área de 6,4 milhões de km<sup>2</sup>, dos quais o Brasil abriga 4,0 milhões de km<sup>2</sup>, que corresponde a 49% do território brasileiro. Sua área abrange os estados do Acre, Amazonas, Amapá, Pará, Roraima, Maranhão, Mato Grosso e Tocantins (IBGE, 2004; MAUÉS; OLIVEIRA, 2010; PEREIRA et al., 2010).

Com clima quente e úmido, a floresta amazônica é essencial na manutenção e equilíbrio do clima regional e global, atuando na regulação das chuvas, principalmente por meio processo de evapotranspiração, muito importante na formação das precipitações, reciclagem e transferência de vapor d'água, tanto localmente como para outras regiões (MALHI et al., 2008). Atua também na mitigação do aquecimento global, uma vez que florestas intactas são sumidouros de carbono ( $\sim 0,6 \text{ Pg C ano}^{-1}$ ) (BAKER et al., 2004).

De acordo com Fisch et al (1996), o clima da Amazônia é resultado da disponibilidade de energia solar, resultado do balanço de energia associado a outros fatores. Em relação ao regime térmico as temperaturas médias anuais variam entre 24°C e 26 °C. A Amazônia possui homogeneidade espacial e sazonal de temperatura, o que não ocorre com relação à pluviosidade. A região central amazônica possui precipitação média anual de aproximadamente 2500 mm, mas tem regiões, como na fronteira entre Brasil, Colômbia e Venezuela, em que o total por ano atinge 3500 mm.

O clima possui uma grande variação na região, tanto em escala espacial, quanto em escala temporal. A particularidade essencial do clima da Amazônia é a presença de um vasto espectro de variações no tempo e espaço da atividade convectiva tropical e da precipitação, tornando-se a variável climática mais importante da região (SOUZA et al., 2009). A estação chuvosa na Amazônia varia progressivamente entre janeiro e março, no sul da Amazônia, a fevereiro a abril, na parte central. Logo, a estação seca, ainda na região central, ocorre entre julho e setembro (FISCH et al., 1996).

A variabilidade interanual e sazonal da estação chuvosa da Amazônia, no conjunto da dinâmica climática tropical, é modulada diretamente pelos padrões oceano-atmosfera de grande escala, associados ao ciclo do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) sobre o Oceano Pacífico e as fases do gradiente meridional inter-hemisférico de anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) sobre o Oceano Atlântico intertropical (NOBRE e SHUKLA, 1996; De SOUZA et al., 2000).

O fenômeno oceano-atmosférico, *ENOS* – El Niño-Oscilação Sul, consiste no aquecimento/resfriamento da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) na região do Pacífico Equatorial, entre a costa do Peru e da Austrália (Souza et al, 2000). Tais fenômenos alteram as condições climáticas em diversas partes do mundo, influenciando fortemente a precipitação, que é o elemento meteorológico fundamental na definição do clima de uma localidade.

Molion (1993) descreveu algumas características da variabilidade climática na Amazônia e o impacto na chuva, resumindo os principais sistemas de tempo que atuam nas diferentes regiões, que são: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Linhas de Instabilidade da Amazônia (LIA) - responsáveis pela formação de chuva próxima à costa litorânea dos estados do Pará e Amapá, assim como a precipitação na Amazônia central durante os períodos de seca (FITZJARRALD, 2008; COHEN et al, 1995; FISCH *et al* 1996).

A região amazônica é altamente vulnerável às mudanças climáticas globais, que são a variação, estatisticamente significativa, em um parâmetro climático médio ou sua variabilidade, persistindo por um período extenso (tipicamente décadas ou por mais tempo) (MALHI et al, 2008; IPCC, 2007).

As florestas tropicais possuem grandes quantidades de carbono estocado (cerca de 200 bilhões de toneladas), seja na forma de biomassa aérea, matéria orgânica morta, biomassa no solo ou carbono no solo (IPCC, 2001). Mudanças nesses reservatórios, devido ao desflorestamento e queimadas, podem causar grandes efeitos na concentração dos gases atmosféricos, onde o carbono emitido não é destruído, mas sim redistribuído entre diversos reservatórios de carbono, ao contrário de outros gases causadores do efeito estufa, que normalmente são destruídos por ações químicas na atmosfera (MALHI et al, 2008).

De acordo com o relatório do quarto grupo de trabalho do IPCC (2007), onze dos últimos doze anos estão entre os doze mais quentes desde 1850. Este aquecimento se deve a emissões de gases de efeito estufa (GEE), resultantes de atividades antrópicas e transformações ambientais ocorridas ao longo dos anos. As emissões no Brasil representam cerca de 3% das emissões globais. Estima-se que 70% destas emissões são provenientes da



mudança no uso do solo, principalmente, o desmatamento (HOUGHTON; SKOLE; NOBRE, 2000).

As mudanças climáticas também representam um risco para o ciclo hidrológico na Amazônia, pois desempenha uma ação fundamental na ciclagem d'água na região (NOBRE *et al*, 2007). Parcela importante das chuvas da Amazônia é alimentada pela evapotranspiração dos seus ecossistemas, uma vez que a média anual corresponde a 55 - 60% da precipitação (CORREA *et al*, 2007). Com um aumento de temperatura, ocorrerá uma maior evaporação e maior transpiração das plantas, o que levará a uma aceleração do ciclo hidrológico (CASE, 2006). Por outro lado, a diminuição da precipitação levará a eventos de secas severas que podem ser acentuados, principalmente, quando associadas a eventos mais frequentes de *El Niño*(Fase quente).

A região tem passado por mudanças significativas nas últimas décadas, associados a sua ocupação intensa iniciada em 1970, devido a incentivos fiscais do governo como forma de integrar a região ao restante do país (MORAN, 1983; HECHT & COCKBURN 1989). Tais mudanças são resultantes principalmente das alterações da paisagem/cobertura vegetal, impulsionadas pelo aumento populacional e práticas de manejo inadequado da terra, resultado de desmatamentos, queimadas, mudanças nas atividades agrícolas, pecuária, exploração madeireira, programas de colonização, abertura de estradas, problemas latifundiários entre outros fatores (FEARNSIDE, 2005).

As ações supracitadas alteram e transformam o ecossistema, afetando o equilíbrio do meio ambiente, modificando a estrutura da paisagem e interferindo substancialmente na dinâmica da floresta, provocando mudanças florísticas e estruturais, reduzindo a área basal e riqueza das espécies (ALENCAR, 2007). Desta maneira, afetam negativamente o meio biofísico, pois provocam alterações na ciclagem de nutrientes, nos ciclos biogeoquímicos e influenciam no balanço hídrico e nos fluxos de carbono, com prejuízos aos micro-organismos, fauna, flora, solos e clima da região (ARTAXO *et al*, 2003;FEARNSIDE, 2003).Além disso, prejudicam a integridade dos serviços ambientais prestados pela floresta, como sequestro de carbono, regulação do clima e de gases atmosféricos e a prevenção de incêndios naturais (MAUÉS & OLIVEIRA, 2010; CAPOBIANCO, 2002).

Neste contexto, a transfiguração progressiva das paisagens amazônicas se deve principalmente, ao desmatamento seguido pelas queimadas. Os desmatamentos na Amazônia legal atingiram, na década, um pico em 2004 de 27.772 km<sup>2</sup> de áreas desmatadas, decrescendo nos últimos anos, quando atingiu 11.651 km<sup>2</sup> de área em 2007 e 12.911 km<sup>2</sup> de área em 2008.

O ano de 2010 apresentou a menor taxa de desmatamento, desde 1988, em relação a uma redução de 45% verificada no ano de 2009, com 6.450 km<sup>2</sup> de área desmatada. Cerca da metade deste desmatamento do ano de 2009 ocorreu no estado do Pará, com contribuição estimada em 3.710 km<sup>2</sup> de área desmatada. Em 2011, o estado teve uma taxa de desmatamento correspondente à 3.008 km<sup>2</sup>, considerando-se como áreas desmatadas aquelas acima de 6,25 ha, nas quais ocorreram a remoção completa da cobertura vegetal (corte raso) (PRODES/INPE 2011).

## 1.2 SECAS SEVERAS NA AMAZÔNIA

Seca é um fenômeno climático causado pela insuficiência de precipitação pluviométrica, numa determinada região por um período de tempo. Palmer (1965) considera a seca como o intervalo de tempo, geralmente da ordem de meses ou até mesmo anos, durante o qual a precipitação diminui consideravelmente em relação ao climatologicamente esperado ou apropriado.

Na Amazônia muitos estudos, como os de Lewis et al (2011), Marengo et al (2007) entre outros, vêm descrevendo e identificando anomalias negativas de precipitação no centro, norte e leste da Amazônia, que estão geralmente associado com eventos de *El Niño - Oscilação Sul (ENSO)* e anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Atlântico tropical norte. Estes estudos ressaltaram que algumas das maiores secas na Amazônia, como a de 2005, foram devidas a alguns fatores predominantes, como a ocorrência de intensos eventos de *El Niño*, o intenso aquecimento das águas superficiais do Atlântico tropical norte durante o verão - outubro no Hemisfério Norte, e ambos os fatores associados (MARENGO et al., 2007). A seca de 2005 matou inúmeras árvores de grande porte em florestas primárias, reduzindo a capacidade da floresta de acumular o dióxido de carbono da atmosfera, além da emissão de CO<sub>2</sub> resultante da decomposição das árvores mortas (GESISKY, 2011).

O evento de seca severa de 2005 foi descrito como um evento que ocorre a cada 100 anos de acordo com Lewis et al (2011). Entretanto, recentemente um estudo liderado pela Universidade de Leeds (Reino Unido) e pelo Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), sobre as secas na Amazônia apontou a estação seca ocorrida em 2010 como mais intensa que a de 2005, em um intervalo de tempo de apenas cinco anos (GESISKY, 2011).

Lewis et al(2011) descreveram que espacialmente a seca de 2010 foi mais extensa, 3.0 milhões de km<sup>2</sup>, em relação a de 2005, que atingiu uma área de 1.9 milhão de km<sup>2</sup>, novamente

devido a elevada TSM do Atlântico norte e *El Niño*. Esta seca fez com que o volume do rio Negro, afluente do rio Amazonas, atingisse o menor nível já registrado na história (14,27 metros abaixo).

Estes episódios de secas severas levam a efeitos preocupantes em termos de incêndios florestais, pois ocasionam estresse hídrico das florestas, uma vez que áreas afetadas por incêndios podem se tornar mais vulneráveis a queimadas periódicas por causa da baixa umidade. Geralmente, florestas úmidas e densas, mesmo no auge da estação seca, não queimam. Seu interior sombreado mantém a umidade das folhas e dos galhos mortos depositados no chão, mas essa função de “aceiro natural” contra o fogo é prejudicada por operações de exploração madeireira, que ao abrir o dossel da floresta permite que a luz solar chegue ao chão com maior incidência levando a secagem dos materiais (galhos e folhas) no sub-bosque e criando condições propícias a incêndios e propagação do fogo (UHL & KAUFMANN, 1990; HOLDWORTH & UHL, 1997; NEPSTAD et al, 1994).

### 1.3 USO E CONSEQUÊNCIAS DO FOGO NA AMAZÔNIA

Desmatamentos em sua maioria vêm acompanhados de práticas de queima na região, agindo em sinergia, e estão fortemente associadas ao modo de produção e preparo da terra por práticas de corte-queima. Tradicionalmente, a formação de roças agrícolas resulta em abertura de novas áreas de florestas primária ou secundária (capoeira), para plantação de mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) e demais culturas. Estas ações têm suas raízes nas práticas indígenas (POSEY, 1984; PEDROSO et al, 2008) e existem secularmente na região amazônica. Este tipo de preparo de área continua até os dias de hoje por causa dos costumes, da rápida liberação de nutrientes da vegetação para o solo e pela falta de alternativa, uma vez que a prática de corte-queima é uma técnica barata e que proporciona rápida resposta às necessidades do agricultor.

O preparo da terra para pecuária (principalmente na manutenção de pastos), por meio de corte e queima, também gera uso intenso de fogo. Provoca muitos incêndios, pois a maioria da pecuária na Amazônia é extensiva (WALKER et al, 2009).

O uso do fogo nos ecossistemas amazônicos tem um paradoxo de seu proveito, pois na agricultura, é utilizado como ferramenta agrícola para converter áreas florestais em áreas de lavoura e pastagens, pois as cinzas ricas em nutrientes fertilizam o solo em um curto intervalo de tempo. Constitui a forma mais barata para tal, bem como para capinar e limpar a terra

(POSEY, 1984; ARIMA et al, 2007), e, por outro lado, é sem dúvida um potencial agente de destruição quando escapa do controle (queimadas acidentais).

Ao escapar do controle, o fogo implica custos sociais (pois a fumaça causa prejuízos à saúde); econômicos, queimando pastos, plantações, benfeitorias. Só na Amazônia, os prejuízos econômicos resultantes da queima de pastagem e cercas variam entre US\$12 e 97 milhões por ano; e ambientais, empobrecendo a biodiversidade e os serviços ambientais das florestas (DIAZ et al, 2002). Como consequência, têm-se danos ecológicos, como alterações da paisagem afetando a fitogeografia em âmbito regional e prejuízos à biodiversidade (BARLOW, 2003; BARLOW et al, 2002).

Os incêndios florestais na Amazônia têm históricos de destruição e perdas significativas no ambiente como um todo. Um exemplo foi o grande incêndio florestal que atingiu diversos tipos de paisagens em Roraima no final de 1997 e início de 1998. Este incêndio afetou principalmente savanas (cerca de 22.580 km<sup>2</sup>) e florestas primárias densas e não-densas - entre 11.394 e 13.928 km<sup>2</sup> (BARBOSA; FEARNSIDE, 2000).

O fogo provoca também mudanças no ciclo hidrológico e no ciclo do carbono, emitindo altas taxas de gases para a atmosfera. Isso afeta a saúde da população e o clima local e global (NOBRE et al, 2007), bem como os serviços ambientais prestados pela floresta, como sequestro de carbono, regulação do clima, barreira natural contra incêndios, recursos genéticos, produtos florestais não madeireiros, dentre outros (SINHA; BRAULT, 2005).

Os fatores principais que facilitam a inflamabilidade da floresta são: combustíveis finos, como folhas e madeira morta (galhos mortos no chão da floresta); clima seco, duração da época seca e eventos de *El Nino*. Bem como fontes de ignição, que podem ser o corte seletivo de madeira que provoca a abertura do dossel, a baixa umidade e temperaturas elevadas no sub-bosque, condições de seca severa, cigarros acesos jogados nas proximidades das florestas, além de descargas elétricas (raios) (UHL; BUSCBACHER, 1985).

Um dos principais efeitos do desmatamento é a fragmentação de florestas antes contínuas, gerando o aparecimento de verdadeiras ilhas isoladas de diferentes tamanhos, em meio a áreas perturbadas. A partir do isolamento ocorrem os efeitos de borda, que são causados por gradientes diferenciados de mudanças físicas e bióticas próximas às bordas florestais (LAURANCE; NASCIMENTO, 2006).

Assim, com a fragmentação, o interior do fragmento florestal fica mais susceptível às mudanças externas (efeitos de borda), causadas principalmente por alterações no microclima, mortalidade de árvores (pois afeta a disponibilidade de água para as plantas), aumento da

intensidade da luz solar, devido à maior abertura do dossel (ALENCAR, 2007). Conseqüentemente, a temperatura, a umidade e a velocidade dos ventos, aumentam a dessecação da floresta e as cargas de combustível no chão, favorecendo o estabelecimento de espécies resistentes ao fogo e influenciam nas taxas de evapotranspiração e no balanço hídrico regional (COCHRANE; LAURANCE, 2008; BARLOW et al., 2002).

Na Amazônia brasileira a fragmentação e efeito de borda ocorrem principalmente por causa da extração de madeira de forma inadequada e do corte seletivo, que reduzem de 95% a 50% a cobertura do dossel. Desta forma, pode-se dizer que a extração predatória de madeira, remove, danifica ou mata cerca de 40% de árvores adultas no interior da floresta, deixando os impactos dos resíduos que aumentam aproximadamente 200% em massa lenhosa no solo, tornando-se combustíveis propícios a futuros incêndios (NEPSTAD et al., 1999; UHL; KAUFFMAN, 1990).

Esses elementos associados fazem com que seque muito mais rapidamente os combustíveis no chão da floresta (folhas e galhos) explorada do que em chão de florestas intactas, podendo atingir um limiar de inflamabilidade florestal de aproximadamente 15%, principalmente entre 13:00 e 15:00 horas da tarde, período no qual os níveis de umidade do ar são mais baixos, de acordo com estudos de Uhl; Kauffman (1990), mesmo durante alguns dias sem chuvas (COCHRANE; LAURENCE, 2008).

Outro fator contribuinte para a propagação de incêndios florestais é o fogo rasteiro, constituindo-se em séria ameaça para as florestais tropicais, uma vez que queima os materiais (combustível) acumulados no sub-bosque da floresta e avança sem muita intensidade no solo, com efeitos pouco aparentes nas copas das árvores. Por isso, os incêndios seguem consumindo milhões de hectares de florestas tropicais úmidas, aumentando a emissão de carbono para a atmosfera, muitas vezes despercebidos por sobrevôos ou imagens de satélite (BARLOW; PERES, 2003).

Diante do exposto, é perceptível que o índice de queimadas na Amazônia tem aumentado substancialmente, embora os efeitos dessa força de perturbação e transformação da paisagem amazônica em relação a inflamabilidade das florestas são pouco compreendidos. Por este motivo torna-se necessário entender como ocorre a interação entre clima e tempo (padrões diurnos – umidade relativa e temperatura do ar, índices de radiação solar, entre outros), bem como a dinâmica da utilização da terra e o uso do fogo atualmente para que se possa avaliar a vulnerabilidade da Amazônia frente às mudanças climáticas.

#### 1.4 ESTUDOS DE INFLAMABILIDADE DA FLORESTA

Alguns estudos vêm analisando a inflamabilidade da floresta com diferentes métodos. Uhl et al (1988) estudaram as taxas de umidade (e inflamabilidade correspondente) em períodos secos de três tipos de floresta e as características de combustíveis finos e microclima na Venezuela, estimando as condições ambientais favoráveis para ocorrência de incêndios florestais. Estas medidas foram complementadas com incêndios experimentais para testar a inflamabilidade florestal.

Em 1990 Uhl; Kauffman mediram a inflamabilidade da floresta na região de Paragominas no estado do Pará, em um ano sem interferência de *El Niño*. Compararam a inflamabilidade de floresta intacta, manejada, capoeiras e pastos. Mediram a quantidade de combustível, as condições microclimáticas e a perda de umidade relativa do ar em períodos sem chuva. Eles documentaram o teor de umidade do combustível fino no sub-bosque da floresta, contudo, durante o período de medições o material combustível não secou o suficiente para tornar-se inflamável.

Blate (2005) estudou as compensações entre manejo florestal e susceptibilidade ao fogo de uma floresta estacional semidecidual Boliviana, analisando a floresta submetida a quatro tipos de manejo: floresta primária (controle); coleta seletiva, e dois tratamentos de colheita com silvicultura adicional. Foram quantificados os efeitos do tratamento nas cargas de combustível, cobertura vegetal, taxas de combustíveis seco relacionando com registros diários de precipitação, e estimou o número de dias propensos ao fogo por mês, associados a cada tipo de tratamento. Eles chegaram à conclusão de que os combustíveis secam o suficiente para inflamar-se em 3-5 dias em locais com cobertura escassa, mas não antes de 11 dias em locais com densa cobertura. Dado que os períodos de 20 dias sem chuva são comuns durante a estação seca, os combustíveis estão secos o suficiente para queimar durante longos períodos na floresta. Eles também fizeram fogos experimentais, e o mais importante, desenvolveram índices de inflamabilidade com número de dias propensos ao fogo por mês.

Ray et al (2010) avaliaram a dinâmica de umidade dos combustíveis finos de sub-bosque em uma floresta úmida tropical no leste da Amazônia brasileira central (região de Santarém) durante a estação seca de 2003 para identificar as variáveis representativas úteis para avaliação de risco de incêndios. O objetivo principal foi tentar desenvolver um modelo estatístico para estimar o risco de incêndios florestais. Estabeleceram estações de secagem sob diferentes quantidades de cobertura do dossel (índice de área foliar (IAF) = 0-5,3), e

submeteram a uma série de entradas de água (5-15 mm) desenvolvendo modelos para previsão do teor de umidade de Serapilheira (LMC), e compararam as previsões com dados de campo independentes.

A partir destes estudos, fica evidente a necessidade de se estudar a questão do uso o fogo e incêndios na Amazônia, uma vez que coloca em risco o ecossistema florestal e toda sua dinâmica ecológica, podendo ocasionar problemas ao meio biológico, físico e social.

Para ocorrência de incêndios florestais de pequenas ou grandes proporções (exemplo de Roraima em 1997/98) são necessárias condições propícias como clima seco, combustível e fonte de ignição; levando-se em consideração que o aumento notável do número de incêndios na Amazônia é devido à fuga dos fogos de áreas desmatadas ao redor de florestas intactas, procurou-se avaliar neste estudo, a inflamabilidade de florestas intactas (áreas florestais sem alteração pela ação antrópica em bom estado de preservação) e degradadas (áreas de florestas submetidas a ações antrópicas como desmatamentos, queimadas, exploração madeireira, entre outros.) na região de Santarém, no Oeste do estado do Pará. Esta região sofre com constantes desmatamentos e queimadas devido à prática de agricultura (principalmente grãos) e pecuária, e exploração seletiva (bem como indiscriminada) de madeira, possuindo também uma extensa área de Unidade de Conservação - a Floresta Nacional de Tapajós.

## **2 OBJETIVOS E HIPÓTESES**

O objetivo geral foi investigar padrões diurnos de inflamabilidade de florestas intactas e degradadas na região de Santarém – Pará.

### **2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- I. Verificar os horários de maior inflamabilidade de cada tipo de floresta;
- II. Analisar a influência do efeito de borda das áreas degradadas na inflamabilidade da floresta;
- III. Entender a atividade de manejo de fogo pelos produtores da região, por meio de análise socioeconômica estruturada.

### **2.2 HIPÓTESES QUE NORTEIAM A PESQUISA**

- I. H1: A inflamabilidade da floresta é fortemente vinculada a padrões diurnos de umidade relativa do ar e temperatura do ar, o que pode determinar que a floresta seja mais inflamável durante determinado(s) período(s) do dia.
- II. H2: A borda é mais inflamável em florestas degradadas durante o dia, e por isso, mais susceptível a incêndios.
- III. H3: A maioria dos focos de incêndios, relacionados ao manejo da terra, ocorre em horários em que a floresta está mais susceptível ao fogo.



### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 O PROJETO

Este estudo foi conduzido na região de Santarém-PA, nas áreas de estudos (microbacias) do Projeto Sustentabilidade dos Usos da Terra na Amazônia brasileira: uma investigação multidisciplinar, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) em Biodiversidade e Uso da Terra na Amazônia, em parceria com o Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), Embrapa Amazônia Oriental, Lancaster University (Reino Unido), University of Cambridge (Reino Unido), The Nature Conservancy (TNC) e outras instituições.

Tal projeto tem por objetivo uma investigação da sustentabilidade dos usos da terra na Amazônia brasileira para entender os fatores que definem as decisões de uso da terra e uso do fogo, assim como as consequências ambientais e socioeconômicas dessas mudanças. O projeto procura integrar as informações existentes com novos dados de campo na tentativa de reduzir impactos negativos de uso e manejo da terra e compor estratégias que busquem melhorar a compreensão a respeito da relação conservação-desenvolvimento. A principal meta é produzir informações científicas que contribuam para prevenir e minimizar o processo de perda da biodiversidade e serviços ecossistêmicos chave na Amazônia.

No âmbito do projeto como um todo, foram selecionadas microbacias (18, cada uma com 5000-6000 hectares) delineadas usando um modelo de elevação digital e o *SWAT (Soiland Water Assessment Tool)* para ARCGIS 9.3. O principal critério para seleção das microbacias individuais foi o total de cobertura florestal remanescente (ou o desmatamento histórico acumulado) na região de Santarém/PA.

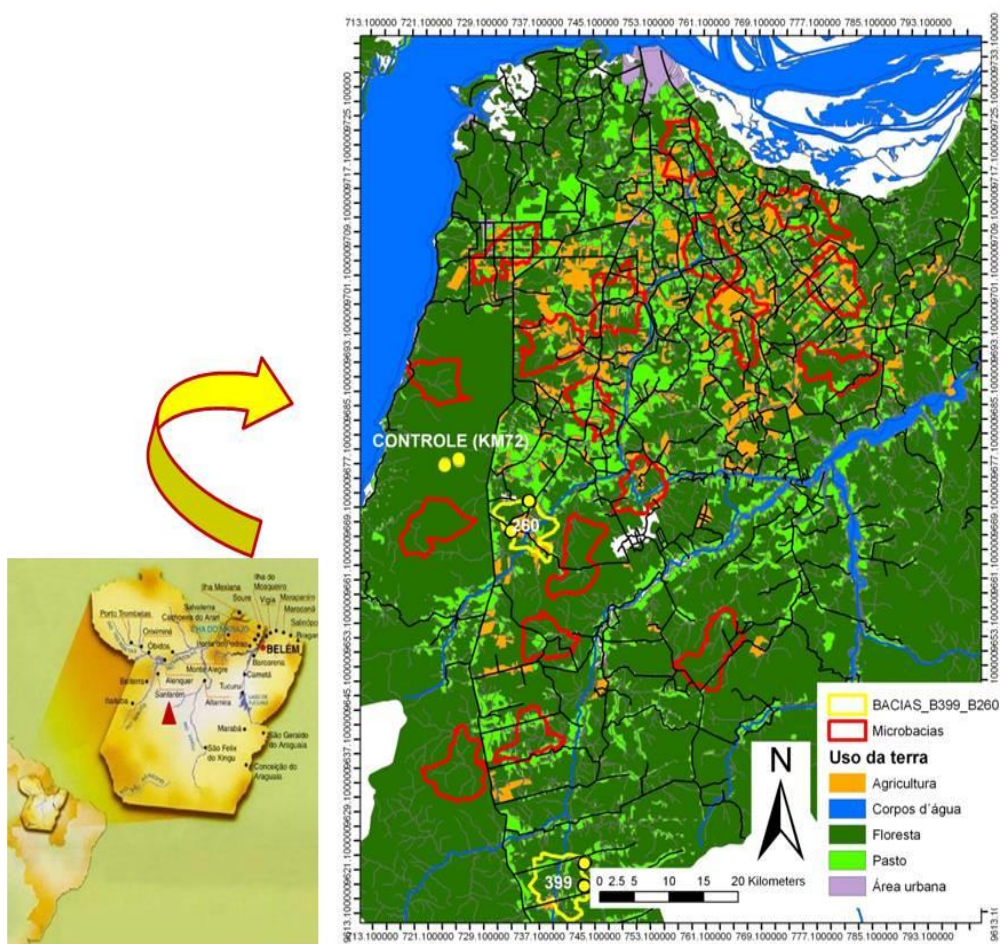
No desenho amostral dos estudos ambientais, cada microbacia possui uma densidade padrão de pontos amostrais (1 por 400 ha) distribuída ao longo da paisagem. A distribuição dos pontos em cada paisagem respeita a proporção de cobertura florestal (de todos os níveis de degradação) e áreas de produção (qualquer), aleatoriamente, para aumentar a probabilidade de capturar aspectos importantes da heterogeneidade interna na floresta e/ou nas áreas de produção. Para o conjunto de dados ambientais e de biodiversidade, cada ponto amostral representa um transecto padronizado de 300 m de comprimento. Cerca de 200 transectos de estudo foram estabelecidos na região de Santarém-PA, ao longo de uma área de aproximadamente um milhão de hectares.

## 3.2 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 3.2.1 Local de estudo – Santarém/PA

Santarém - PA, foco da área de estudo, localiza-se a 2° 24" 52" de latitude sul e 54° 42" 36" de longitude oeste, na região Oeste do estado do Pará, na mesorregião do Baixo Amazonas, microrregião Santarém, com a sede do município situada na confluência dos rios Amazonas e Tapajós, distante aproximadamente 807 km, em linha reta, da capital do Estado (Figura 01).

Figura 1 -Mapa da área de estudo, região de Santarém, estado do Pará, com as microbacias do Projeto Sustentabilidade dos usos da terra na Amazônia.



### 3.2.2 Ocupação da região

Santarém experimentou vários ciclos econômicos desde os primórdios de sua ocupação. Os índios Tupaius, que tinham na agricultura (cultivo principalmente de milho e mandioca), pesca e extrativismo animal sua fonte de sobrevivência, foram os primeiros habitantes. A colonização da região aconteceu de fato no século XVII, entre 1661 e 1818, quando os portugueses chegaram ao local para impedir uma invasão inglesa.

Posteriormente, ocorreram missões religiosas, e Santarém, experimentou vários ciclos econômicos. De acordo com Amorim (2000), o primeiro ciclo foi o das drogas do sertão como: cacau, cravo, salsaparrilha, baunilha, guaraná, exploradas por mão de obra indígena (tupaius) na mata nas margens dos rios. O segundo foi o Ciclo do Cacau e teve início no século XVIII. O terceiro, ciclo Borracha, teve início no século XIX e distinguiu-se pelo desenvolvimento da agricultura e do comércio. O quarto ciclo constituiu-se no Ciclo da Juta na década de 30 e início da década de 40 do século XX. O quinto ciclo econômico caracterizou-se pela produção da Pimenta do Reino, na década de 70 do século XX, desenvolvida pelos colonos japoneses.

O sexto ciclo econômico foi dos investimentos patrocinados pelo Governo Federal, também iniciado na década de 70, e viabilizaram a construção de estradas (BR-163/Santarém Cuiabá e BR-230/ Transamazônica). Já o sétimo ciclo econômico foi o do Ouro, correspondeu ao extrativismo mineral, que ocorreu nos anos 80.

Entre 1990 até meados de 2000 os municípios de Santarém e Belterra, sofreram transformação na dinâmica de uso da terra e em seu sistema produção agrícola. Anteriormente era baseado na agricultura familiar, passando atualmente para pecuária e agricultura mecanizada, principalmente no cultivo de grãos como arroz, milho e soja (AMORIM, 2000).

Facilitada pelos benefícios de clima, topografia e principalmente pelo baixo preço das terras e boa aptidão agrícola, Santarém atraiu um número significativo de produtores de grãos de outras partes do país, os quais se consolidaram na região estabelecendo uma nova fronteira agrícola. Por ter uma posição geográfica estratégica aliada a demanda de produto, foi instalado no município um porto para escoamento e exportação da produção de grãos, o que desencadeou também uma crescente demanda por novas áreas, ocasionando uma nova configuração na paisagem em boa parte da região.

Neste contexto, um novo mosaico na paisagem foi formado, no qual áreas de pastagens degradadas e partes de terras pertencentes às comunidades rurais, dedicadas especialmente a agricultura familiar estava sendo convertida em áreas de cultura intensiva de

grãos, especialmente a soja, introduzindo, desta forma, um novo arranjo de sistema produtivo, induzindo a conflitos e impactos socioambientais, uma vez que este sistema produtivo degrada grandes áreas florestais e impacta o conhecimento tradicional das populações nativas, o que implica em discussões em escala regional sobre padrões produtivos mais apropriados ao desenvolvimento sustentável na Amazônia. Aliado a isso, a medida que cresce a demanda de mercados externos e a ocupação de novas terras na região para cultivo agrícola, há um aumento nas preocupações em torno da perda da biodiversidade e da integridade dos serviços ambientais prestados pela floresta, bem como o meio de vida das populações locais (BRONDÍZIO, 2006).

### **3.2.3 - Clima de Santarém**

O clima da região de Santarém caracteriza-se, em linhas gerais, como quente e úmido, porém com algumas variações dependendo de sua região geomorfológica. Apresenta temperatura média anual variando entre 24,3° e 25,8° C. A precipitação pluviométrica anual é de 1.920 mm, ocorrendo maior precipitação entre os meses de dezembro e maio, com média mensal variando de 170 mm a 300 mm, a típica estação chuvosa, ou inverno amazônico e, menor precipitação pluviométrica inferior a 60 mm entre os meses de agosto e outubro, definidos como estação seca. A umidade relativa do ar possui média anual de 86%, com menor taxa de umidade no mês de setembro e sendo mais elevada no mês de março (AMAZONAS, 2008).

Segundo Moura et al (2004), Santarém apresenta circulações locais como a de brisa fluvial e brisa terrestre, por causa de sua hidrografia, influenciada principalmente pelos rios Amazonas e Tapajós. As brisas de rio (fluvial) e floresta (terrestre) se apresentam de forma bem definidas, sendo que a brisa fluvial fica mais bem caracterizada no período mais quente do dia, nos horários entre 10:00 e 14:00 horário local, enquanto a brisa terrestre se evidencia no período de 16:00 e 08:00 horário local (MOURA et al, 2004).

### **3.2.3 – Relevo**

Apresenta um relevo que tem como principais unidades morfoestruturais representadas pela Planície Amazônica que ocupa a porção norte do município, constituindo as áreas de várzea, temporariamente submetidas às inundações do rio Amazonas. O Planalto Rebaixado

da Amazônia representa uma superfície intermediária entre a planície Amazônica e o Planalto Tapajós-Xingu, com aparência morfológica dominante na porção centro-sul do município, situadas nas maiores altitudes regionais entre 100 e 150 metros, em média, caracterizado por elevações de topo plano (Santarém, 2011).

#### **3.2.4 – Solos**

Os solos de Santarém são representados, sobretudo, pelo Latossolo Amarelo textura média, argilosa e muito argilosa, em associações com concrecionários lateríticos - decomposição de arenitos, siltitos e argilitos -, areia quartzosa distrófica e glei pouco húmico distrófico textura argilosa. Possui solos Podzólico Vermelho Amarelo com textura argilosa em associação com o Latossolo Amarelo distrófico textura argilosa e concrecionários lateríticos Indiscriminados distróficos textura indiscriminada; glei pouco húmico eutrófico e aluvial eutrófico texturas indiscriminadas (Embrapa, 2008).

#### **3.2.5 – Hidrografia**

A hidrografia do município foi dividida em seis bacias hidrográficas, sendo estas: Bacia do Rio Amazonas, que abrange mais de 1/6 de toda a extensão territorial do município; Bacia do Rio Arapiuns, localizada na porção oeste do município, entre as bacias do Tapajós e do Amazonas; Bacia do Rio Tapajós, que é a segunda em extensão territorial, dentro das terras do município. Bacias dos Rios Moju, Mojuí e Curuá-una: As bacias dos rios Moju e Mojuí são tributárias da bacia do rio Curuá-Una e juntas formam toda a malha hídrica existente na chamada "Região do Planalto" (AMAZONAS, 2008).

#### **3.2.6 - Cobertura Vegetal**

Sua cobertura vegetal é constituída por floresta densa e a floresta aberta, sendo esta última com duas fisionomias distintas: floresta aberta cipoal e floresta aberta palmeiras. Ocorrem também na região Campos e Cerrados. Nas áreas em que houve desflorestamento, a floresta primária foi sucedida pela floresta secundária ou capoeira. Nas áreas sob influência de inundação fluvial, encontra-se o predomínio de espécies arbustivas e subarbustivas (AMAZONAS, 2008).

A região abriga a Floresta Nacional de Tapajós, com aproximadamente 600 mil hectares, estendendo-se até os municípios de Aveiro e Rurópolis. Ao norte, faz fronteira com o município de Belterra; ao sul com o Rio Cupari, ao leste com a Rodovia Santarém-Cuiabá (BR 163) e a oeste, com o Rio Tapajós. Sua tipologia vegetal é de 1,1 % de Floresta Ombrófila Aberta e 98,9 % de Floresta Ombrófila Densa. Apresenta paisagem diversificada, com igapós, capoeiras, seringais e florestas altas, sendo que em alguns pontos a diversidade é bastante significativa e pode-se contar até 40 formas arbóreas por hectare, com DAP acima de 10 cm. Contém diversas espécies de valor comercial, como o cedro, a copaíba, a seringueira e a castanheira, e alta diversidade de fauna (ICMBio, 2009).

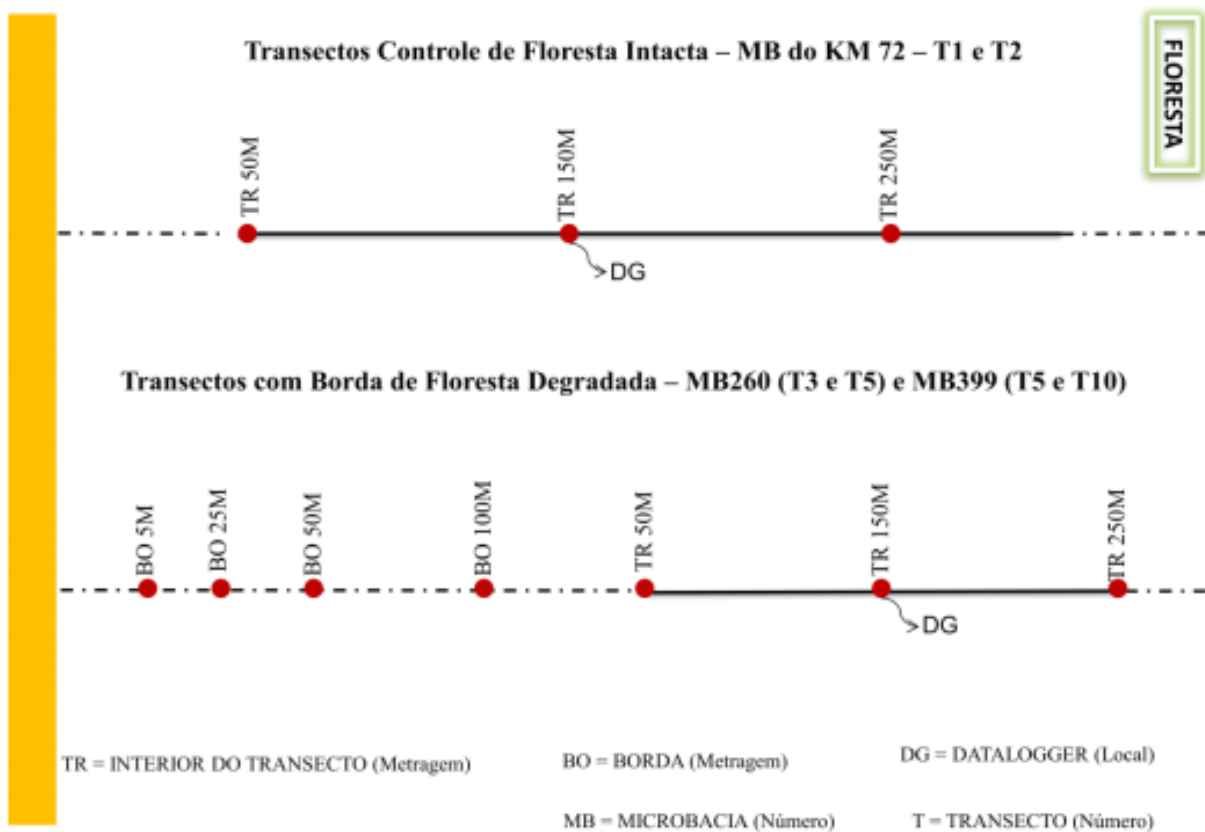
### 3.3 SÍTIOS DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido em dois tipos de paisagens, nas microbacias do Projeto Sustentabilidade dos usos da terra na Amazônia, distribuídas na Floresta Nacional de Tapajós e nas áreas de produtores rurais da região de Santarém:

Floresta Intacta: na Floresta Nacional de Tapajós, onde foram estabelecidos aleatoriamente dois transectos como pontos de referência/controle. Tais transectos localizam-se no Km 72 da FLONA Tapajós, denominados aqui de T1 e T2, áreas sem efeito de borda, com três pontos de amostragem em cada transecto em direção ao interior da floresta, a partir do ponto inicial de 50 metros, 150 metros e 250 metros.

Floresta Degradada: os quatro transectos localizam-se nas microbacias (MB): MB 260 - T3 e T5A; MB 399 - T5B e T10. Essas áreas já sofreram exploração/queimadas, e no seu entorno há plantações de grãos (soja e milho) assim como pastos. Portanto, nessas áreas mediu-se o efeito de borda (BO) até 100 metros (em 05, 25, 50 e 100 metros), e no interior da floresta em 50 metros, 150 metros e 250 metros do transecto, consistindo em 07 pontos de amostragem em cada transecto de floresta degradada na direção borda-interior, como pode ser visualizado na Figura 02. A distância mínima entre os transectos dentro de uma microbacia é de 1500 metros.

Figura 2 - Desenho amostral do experimento na Região de Santarém, PA – Projeto Sustentabilidade dos usos da terra na Amazônia.



### 3.4 EXPERIMENTO DE INFLAMABILIDADE

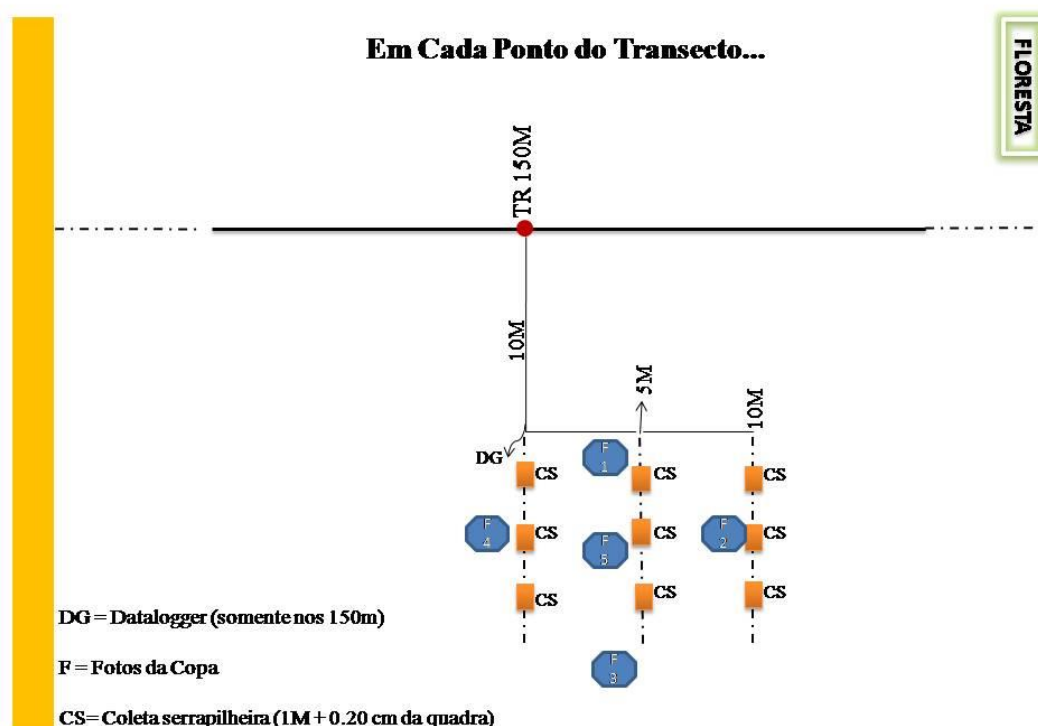
Este estudo baseou-se nas metodologias utilizadas por Holdsworth;Uhl (1997) que determinaram o teor de umidade com base no cálculo de madeira seca.

O trabalho de campo foi realizado durante a estação seca de 2010, mês de Outubro e parte do mês de Novembro.

#### 3.4.1 Combustível Fino - Serapilheira

Ao entrar no transecto, foram marcados os pontos de amostragem, e a partir destes, foram estabelecidas parcelas de 10 metros para o lado direito, com uma marcação a cada 05 metros, formando-se três linhas nas quais foram coletadas a Serapilheira. Esta, determinada aqui como material combustível, foi coletada a uma distância de um metro da linha com uma quadra de 20 cm x 20 cm. A cada duas horas a Serapilheira foi coletada em local diferente dentro das linhas delimitadas na parcela, no período de 06:00 às 18:00 horas (Figura 03).

Figura 3 - Desenho amostral do experimento em cada ponto do transecto na Região de Santarém, PA – Projeto Sustentabilidade dos usos da terra na Amazônia.



Após a coleta, as amostras foram armazenadas em sacos de papel e pesadas *in loco* em balança digital de precisão 2200g Kern© para medir a massa úmida. Posteriormente a última coleta do dia (às 18:00 horas), as amostras foram para a estufa a 60°C até atingir um peso seco constante. Em seguida, fez-se o cálculo utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{Umidade \%} = [(\text{peso da massa em campo} - \text{peso seco}) / (\text{peso seco})] \times 100$$

### 3.4.2 Medição de Temperatura do Ar, Umidade Relativa do Ar e Precipitação

Sensores de Umidade Relativa e Temperatura do Ar: em 150 metros de cada transecto foi instalado um data logger Omega® OM-EL-WIN-USB para coletar dados de monitoramento de umidade relativa e temperatura do ar, por um período de 30 dias, a cada 05 minutos, disposto a uma altura de 25 cm do chão.

Termohigrômetro: Os dados de umidade relativa e temperatura do ar foram medidos diariamente com um termohigrômetro ATR® modelo DT-321, a cada 2 horas (a partir de 06:00 hr até às 18:00 hr), em cada ponto de amostragem no transecto.



Medida de Precipitação: Com dados do data logger foram identificados 13 dias de chuvas (quando constatou-se umidade relativa do ar a 100%). Esses dias foram excluídos das análises e não entraram nos resultados, pois o objetivo foi constatar os dias sem chuva. Para confirmar que houve precipitação no período estudado (outubro e novembro), utilizou-se dados do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM).

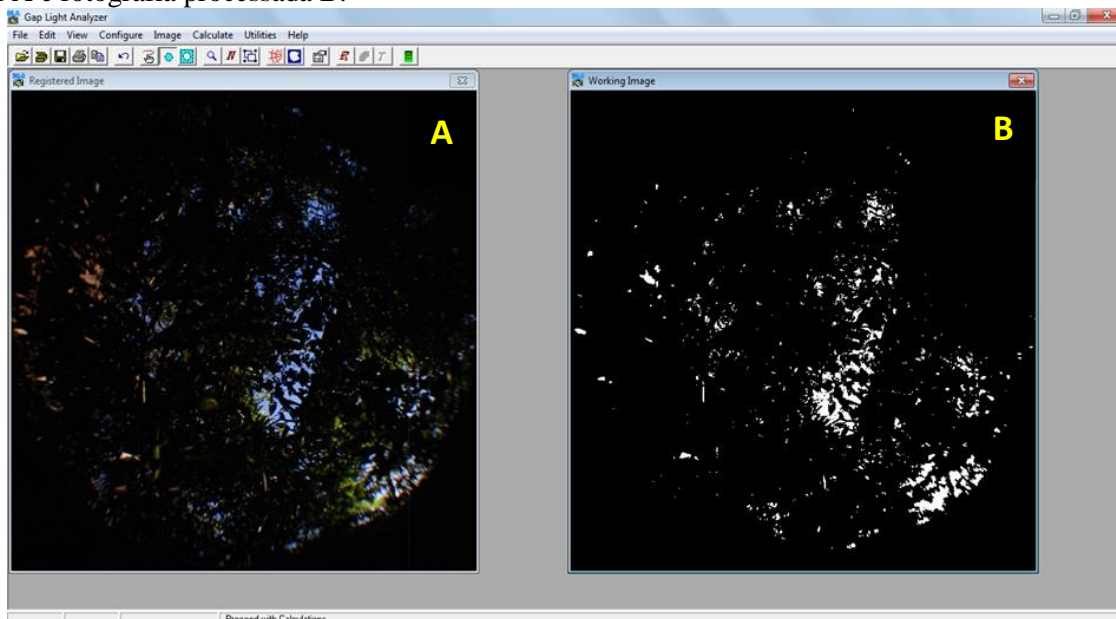
### **3.4.3 Estimativa da Porcentagem de Abertura do Dossel**

Para verificar a taxa de abertura do dossel das florestas intactas e degradadas, foram registradas fotografias hemisféricas da copa, com câmera digital Nikon® D40 e lente hemisférica fisheye®. Em cada parcela foram tiradas 05 fotografias, uma em cada lado da parcela e outra no centro para obter uma média, amostrando a parcela inteira, em cada ponto dos transectos. As fotografias foram obtidas no sentido do solo para o céu, com a câmera posicionada a 30 cm acima do solo.

As fotografias foram tiradas no intervalo entre a primeira e segunda coleta de dados da manhã, ou seja, entre 06:50 e 07:50 horas, para que não houvesse interferência dos raios solares durante a análise das fotografias no software.

Para a estimativa da porcentagem da abertura do dossel as fotografias hemisféricas foram analisadas no software Gap Light Analyzer (GLA) versão 2.0, onde foram convertidas em preto e branco, e recortadas no formato quadrado requisitado pelo GLA, como mostra a Figura 04, que é projetado para exibição, importação e análise digital hemisférica (fisheye). Posteriormente calculou-se a média dos valores obtidos a partir das 05 fotos tiradas de cada parcela por transecto, e após por tipo de floresta.

Figura 4 - Fotografia hemisférica da abertura do dossel processada no Software GLA 2.0, fotografia original A e fotografia processada B.



### 3.5 DADOS SOCIOECONÔMICOS – QUESTIONÁRIOS

Foram utilizados dados dos questionários socioeconômicos, coletados durante entrevistas semi-estruturadas pelo projeto Sustentabilidade dos usos da terra na Amazônia, para adquirir um entendimento amplo das atitudes dos produtores rurais em relação ao fogo e das práticas agrícolas, em um espectro amplo de sítios e comunidades (no período de agosto a outubro de 2010) abordando as seguintes questões do módulo relacionadas ao manejo e uso do fogo com os produtores da região de estudo:

- *Quando foi a última vez que você utilizou fogo em suas práticas agropecuárias?*
- *Faz aceiro? (Aceiro é o desbaste de um terreno em volta de propriedades, matas e coivaras, para impedir propagação de incêndios).  NÃO  SIM: quantos dias antes de colocar fogo?*
- *Queima contra o vento?  SIM  NÃO*
- *Põe fogo em qual horário?  Qualquer  Entre \_\_:\_\_ horas e \_\_:\_\_ horas*
- *Você coloca fogo antes ou depois da primeira chuva?*

Nas microbacias do projeto, foram entrevistados 200 produtores rurais, selecionados aleatoriamente, entre parceiros do projeto, aqueles que possuíam transectos de estudos em

suas propriedades, e produtores aleatórios, que não possuíam transectos de estudos em suas áreas, com diferentes sistemas produtivos (culturas anuais, perenes e pasto) em áreas de produção variando entre 100 ha e mais de 500 ha.

Os dados dos questionários foram divididos em duas categorias para análise estatística:

Treinados e Não Treinados, para avaliar se os produtores rurais da região receberam ou não treinamento de uso do fogo por parte de órgãos governamentais ou outras instituições. Outra categoria foi o tamanho da propriedade, em relação aqueles produtores que possuíam de 1-50 ha e + 50 ha, a fim de verificar se há influência dessa categoria na adoção de boas práticas de manejo de fogo.

### 3.6 MÉTODOS DE ANÁLISE DOS DADOS

- Análises Estatísticas

Os dados foram analisados estatisticamente utilizando os programas JMP 8 (JMP Statistical Discovery Software) e StatSoft (Statistica).

Para os dados de umidade relativa do ar, temperatura do ar, umidade da Serapilheira e taxa de abertura do dossel de florestas intactas e degradadas, utilizou-se análise não paramétrica de comparação de medianas de Mann-Whitney (utilizada por Blate, 2005), pois as amostras seguem uma distribuição não-normal. Os fatores foram tratados quanto ao tipo de floresta, distância da borda (no caso de floresta degradada) e horário.

Em relação às práticas de manejo de fogo, utilizaram-se testes qui-quadrado e tabela de contingência, para as categorias Treinados vs Não Treinados e Tamanho da Propriedade (1-50 hectares e 51+ hectares) no que diz respeito as boas práticas de manejo como: aceiro, queima contra o vento, esperar a primeira chuva e queima em horário crítico

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

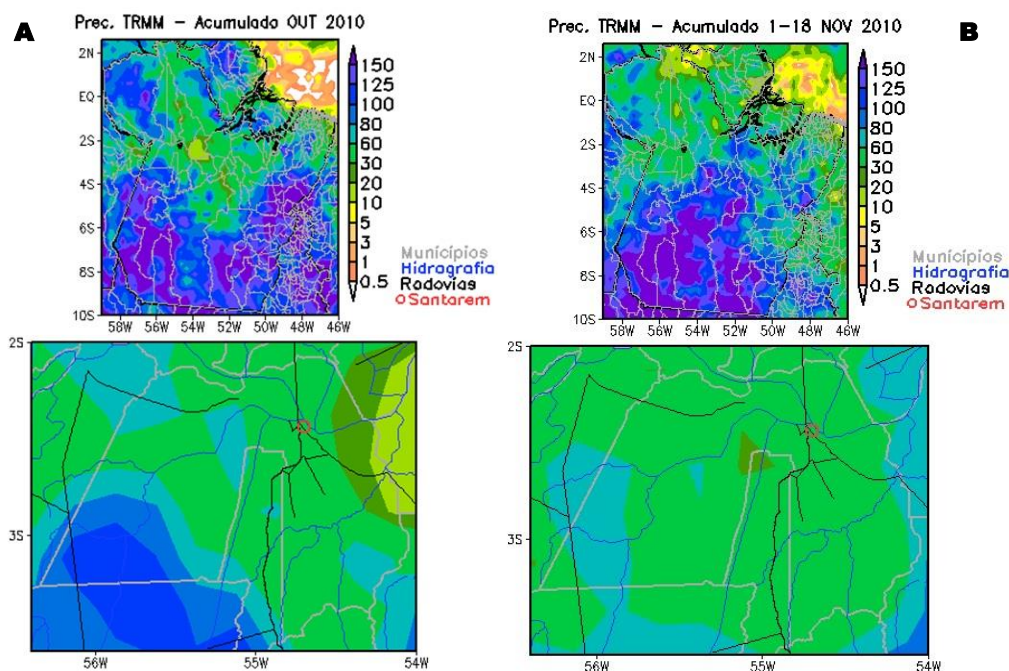
Os resultados obtidos neste estudo vieram confirmar as hipóteses aqui levantadas. As predições eram de que as florestas degradadas são mais inflamáveis que as florestas intactas, portanto mais vulneráveis ao fogo.

### 4.1 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS NA INFLUÊNCIA DA INFLAMABILIDADE FLORESTAL

Durante o trabalho de campo foi observado o acumulado de chuva para os meses de Outubro e Novembro, obtidos pela análise dos dados de satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), como mostra a Figura 05, a seguir.

Ambos os meses de Outubro e Novembro, são marcados como meses de seca no estado do Pará. Neste período, os processos de chuva estão relacionados com sistemas de curta duração e de grande intensidade, a mesoescala e/ou pequena escala, tais como, aglomerados convectivos, Linhas de Instabilidades (LI), entre outros (MOLION, 1993).

Figura 5: Dados de Precipitação no estado do Pará, com foco na região de Santarém, onde “A” representa o acumulado para o mês de Outubro e “B” para o período de 1-18 de Novembro de 2010, obtidos pelo programa TRMM.



De acordo com o boletim Climanálise, em de outubro de 2010 a região norte do Brasil sofreu uma forte redução na precipitação, que estaria relacionada com o forte aquecimento do

Atlântico, mecanismo que ocorreu através da manifestação da célula de Hardley, inibindo a dinâmica das chuvas na região. Isso fica evidente quando se observa a chuva acumulada para este mês na Figura 04 A, na qual Santarém está inserida em uma região que mostra chuvas mais reduzidas quando comparada às áreas adjacentes, com *shade* (tonalidade) verde variando entre 10 a 30 mm, enquanto o *shade* azul varia acima de 80 mm. Analisando somente a região onde Santarém se encontra, não se observa grandes mudanças na evolução das chuvas de Outubro para Novembro (Figura 04 B) e, vale ressaltar que o acumulado de Novembro é de apenas 18 dias, enquanto Outubro é um mês completo.

Os resultados das variáveis analisadas como Abertura do Dossel, Temperatura do Ar, Umidade Relativa do Ar e Umidade do Combustível Fino (Serapilheira) apresentaram diferenças significativas na comparação entre os tratamentos: Floresta Intacta, Interior de Floresta Degradada e Borda da Floresta Degradada.

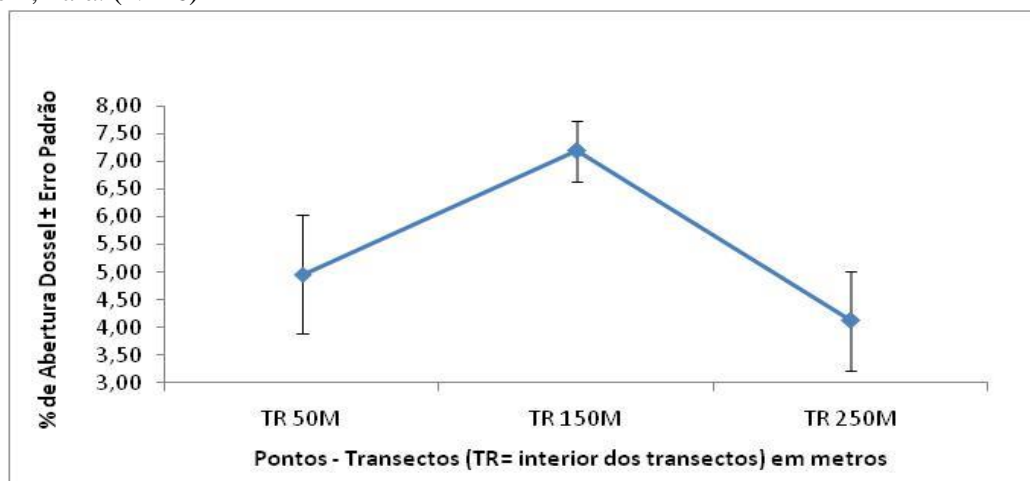
#### 4.2 ESTIMATIVA DA ABERTURA DO DOSSSEL

Em relação à abertura de dossel, houve diferença significativa entre Floresta Intacta e Floresta Degradada (Resultado *Mann-Whitney U Test*,  $z = -2,023$   $p = 0,04$ ), sendo que a floresta intacta apresentou dossel mais fechado com uma diferença de até 2,5 % a mais que na floresta degradada.

No início do transecto (50 metros) observou-se abertura média de 4,96 %, com maior abertura aos 150 metros (7,19 %) e copa mais fechada no final do transecto, como pode ser observado na Figura 05 a seguir.

Para Kapos V (1989), As florestas intactas naturalmente apresentam dossel mais fechado, com elevada umidade do ar e do solo, onde as temperaturas são amenas, havendo pouca luz e ação dos ventos no sub-bosque.

Figura 3: Abertura média do dossel de Floresta Intacta  $\pm$  erro padrão em floresta intacta, região de Santarém, Pará. (N = 6)



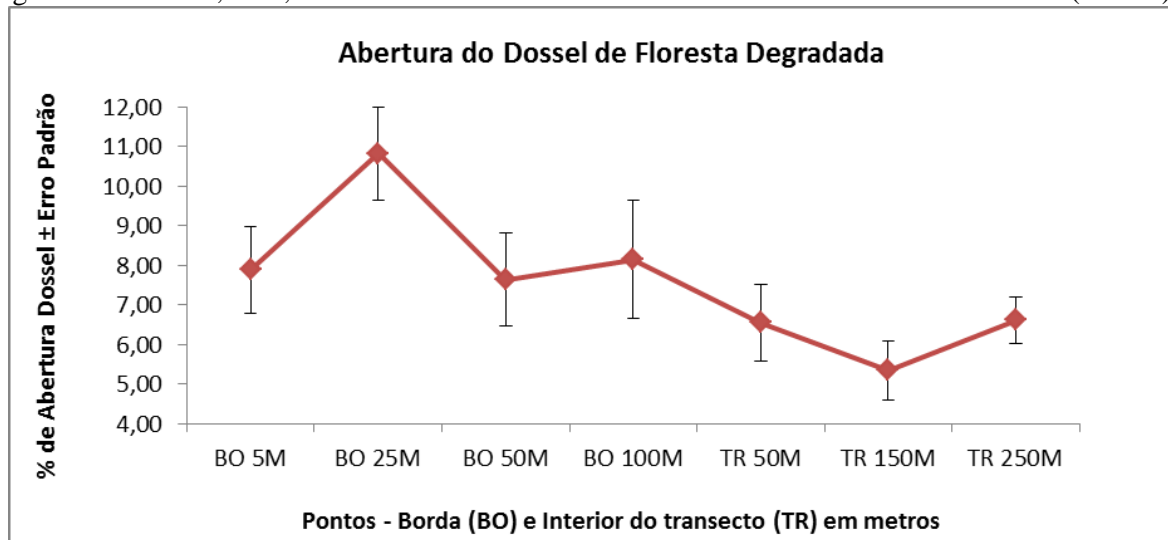
Já em relação à Floresta Degradada, ao longo do transecto na direção borda – interior da floresta, houve diferenças significativas, como é possível observar na Tabela 01 a seguir, apresentando dossel mais aberto na borda 05 metros (7,9 %), em 25 metros (10,8 %) e em borda 100 metros (8,2%). A taxa de abertura do dossel vai diminuindo na medida em que se avança em direção ao interior da floresta.

Tabela 1: Resultados para Abertura de Dossel em Floresta Degradada na região de Santarém, Pará, com Teste *Mann-Whitney*.

% de Abertura do Dossel de Floresta Degradada					
	Média	EP	n,n	z	p
Degradada – interior da floresta (50m, 150m e 250m)	6,2	0,5	60,20	x	x
BO 5m	7,9	1,1	60,20	1.205	0.22
BO 25m	10,8	1,2	60,20	3.388	0.00
BO 50m	7,6	1,2	60,20	0.827	0.41
BO 100m	8,2	1,5	60,20	0.800	0.42

A borda chega a apresentar um dossel cerca de 4% mais aberto em relação ao interior da floresta. Essas diferenças ao longo do transecto podem ser mais bem observadas na Figura 06 a seguir. Em borda 05 metros apresentou-se um pouco mais fechada em relação à borda 25 metros, e este fato pode ser explicado pela influência da vegetação de sub-bosque.

Figura 4: Valores de abertura média do dossel  $\pm$  erro padrão, encontrados em florestas degradadas da região de Santarém, Pará, onde BO = área de borda e TR = interior do transecto na floresta. (N = 28)



Isto ocorre devido à mudança da estrutura da vegetação do fragmento que ficou exposto ao efeito de borda, mais susceptível a maior incidência de luminosidade, a um ambiente mais quente e seco, comprometendo, desta forma, algumas espécies florestais, e favorecendo o desenvolvimento de outras espécies mais resistentes, como cipós. Desta forma,

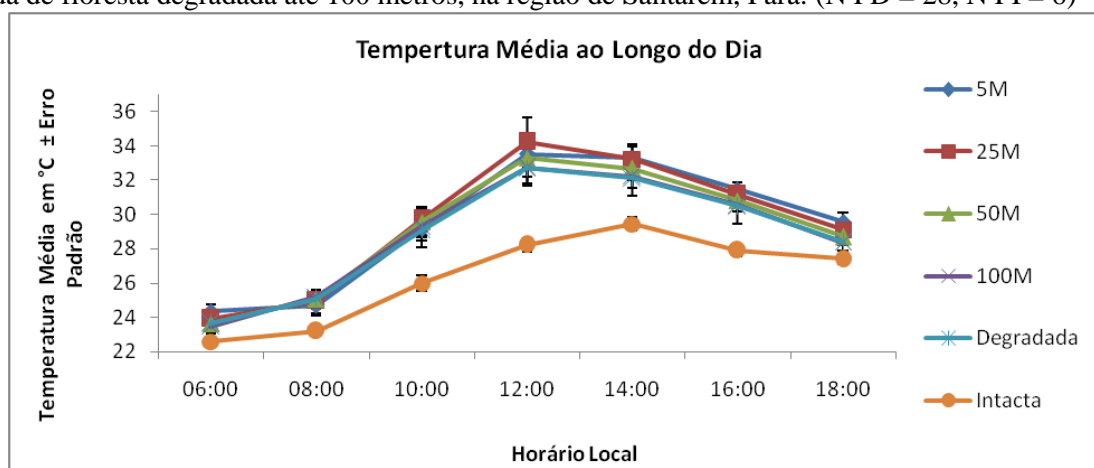
acaba apresentando-se com vegetação mais baixa, mais espaçada e em crescimento, portanto mais abertas, o que provoca um desequilíbrio do ambiente levando até mesmo a perda de espécies.

A fragmentação expõe as florestas remanescentes a crescentes níveis de interferência ao longo das bordas. Dentro da floresta isso pode levar a um colapso de biomassa e ao aumento da mortalidade de árvores a até 100 metros da borda (Laurence et al., 1997, 2000). A penetração de luz através do dossel fragmentado e o aumento da quantidade de resíduos lenhosos (Nascimento & Laurence, 2002) podem aumentar a susceptibilidade dessas florestas ao fogo. Em relação ao risco de incêndio, cada metro de borda de um fragmento é uma via potencial para entrada de fogo na floresta. Logo, à medida que uma região se desenvolve e as florestas se tornam mais fragmentadas, o risco de incêndios florestais aumenta porque existem mais bordas susceptíveis ao fogo, que ficam expostas a incêndios com maior frequência.

#### 4.3 TEMPERATURA DO AR

A média de temperatura do ar entre borda de florestas degradada e interior (transectos) de florestas intactas e degradadas apresentam comportamento diferentes. Pode-se observar na Figura 07, que a amplitude dos valores de temperatura do ar são maiores na borda, apresentando pico maior entre 12:00 (com até 34 °C na borda) e 15:00 horas local.

Figura 5: Temperatura média do Ar  $\pm$  erro padrão do interior de floresta intacta, floresta degradada e borda de floresta degradada até 100 metros, na região de Santarém, Pará. (N FD = 28, N FI = 6)



À medida que se avança ao longo do transecto, o comportamento de temperatura do ar segue um padrão, diminuindo de acordo com a distância da borda, ao longo do dia.

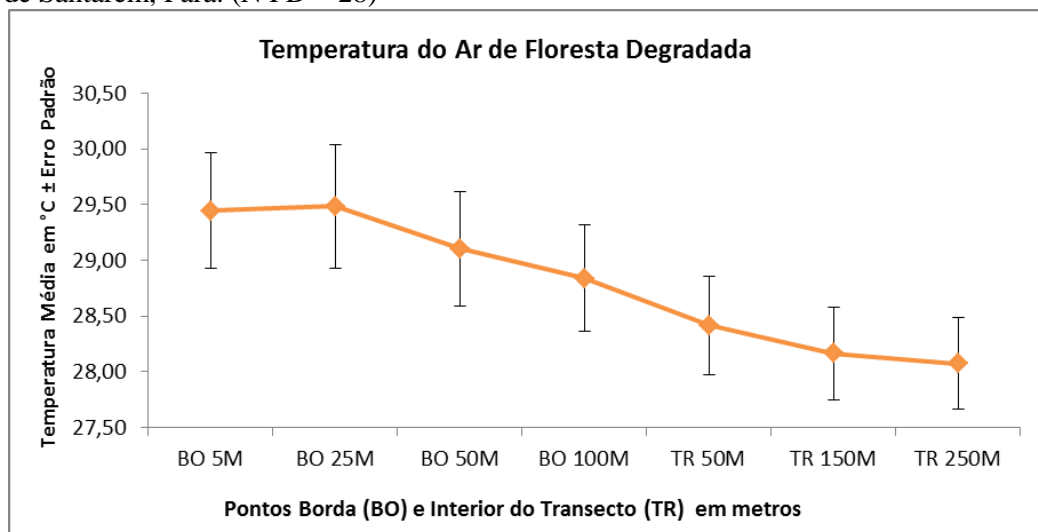
Nesta comparação, os resultados dos testes estatísticos para Floresta Intacta e Degradada mostraram diferença significativa (*Mann-Whitney U Test* –  $z = -4.789$   $p = 0.00$ ), na qual a floresta intacta, mesmo em horário crítico, apresenta temperatura do ar mais amena em relação à floresta degradada, que às 12 horas chega a ser 4,5°C mais quente que a floresta intacta. A floresta intacta é mais quente de madrugada.

Já a diferença de Floresta Degradada em relação à Borda pode ser observada na Figura 08 a seguir, onde constatou-se que a borda atinge até 1,3°C mais quente que o interior do transecto, fato que pode estar relacionado a maior abertura do dossel na borda, que permite maior incidência dos raios solares.

Nepstad et al, (1999), em estudo conduzido na região de Paragominas – Pará, encontrou temperaturas do ar 10°C mais alta em floresta explorada degradada do que em floresta intacta, devido a redução drástica na cobertura do dossel deste tipo de floresta.

No geral, a floresta degradada recebe mais radiação durante o dia, e a perda radioativa é maior na clareira, onde a atmosfera é mais quente e menos densa.

Figura 6: Temperatura do ar  $\pm$  erro padrão em floresta degradada direção borda-Interior da floresta, na região de Santarém, Pará. (N FD = 28)



Essas diferenças de temperatura do ar entre borda e interior de floresta degradada são significativamente maiores na borda, como podem ser analisadas na Tabela 02 seguir.

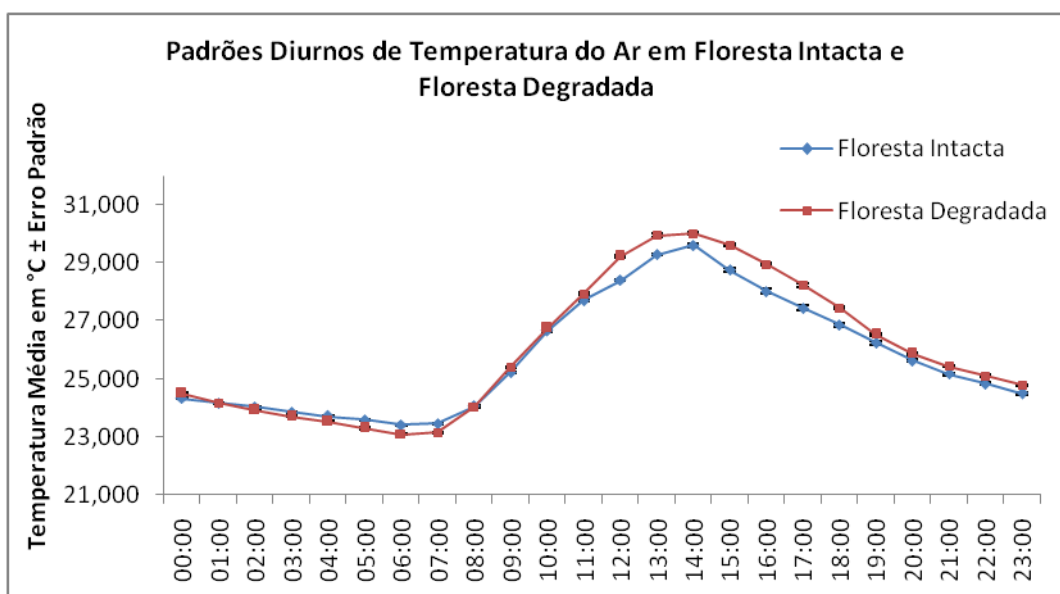


Tabela 2: Resultados para temperatura do ar do interior de floresta degradada e bordas, na região de Santarém, Pará, com teste *Mann-Whitney*

Temperatura °C					
	Média	EP	n,n	z	p
Degradada – interior da floresta (50m, 150m e 250m)	28,2	0,2	168, 56	x	x
BO 5m	29,4	0,5	168, 56	2.144	0.03
BO 25m	29,5	0,6	168, 56	2.180	0.02
BO 50m	29,1	0,5	168, 56	1.765	0.07
BO 100m	28,8	0,5	168, 56	1.367	0.17

Como a variável temperatura foi medida de duas formas, com termohigrômetro e sensores data logger, a seguir é apresentado na Figura 09 o gráfico que mostra o padrão diurno de temperatura do ar apenas no interior de cada tipo de floresta (em 150 metros do transecto). Com esses dados, foi possível confirmar que o horário em que a floresta está mais quente é entre 12:00 e 15:00 horas local e depois vai diminuindo gradativamente. Esse padrão de temperatura é mais ameno pela parte da manhã e noite.

Figura 7: Padrão diurno de temperatura do ar registrado no interior de floresta intacta e degradada, região de Santarém, Pará. (N FD = 28, N FI = 6).



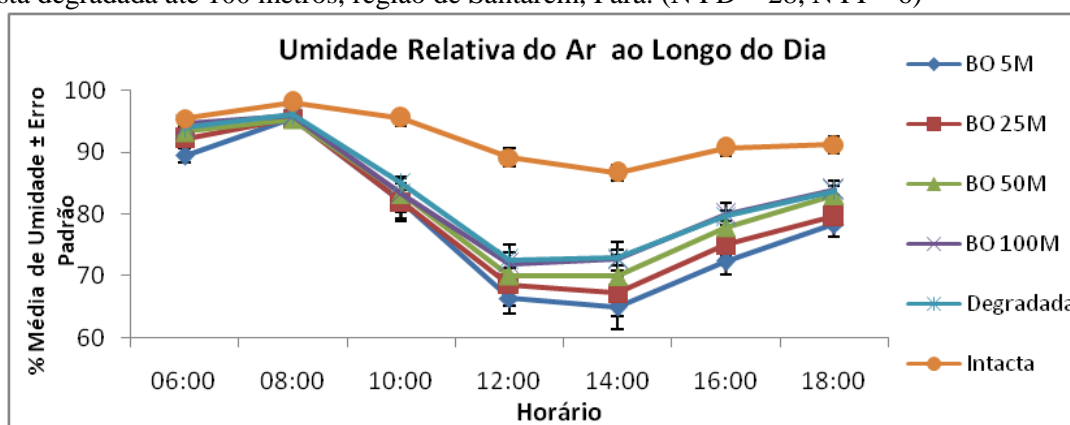
O período crítico de temperaturas do ar mais elevadas observado neste estudo fica entre 12h00min e 15h00min horário local, e proporcionalmente, as médias mais baixas de umidade relativa do ar.

As florestas degradadas, coerente com o esperado, apresentam-se mais quentes e secas do que as florestas intactas. Ao meio-dia, apresentou-se aproximadamente 1°C mais quente.

#### 4.4 - UMIDADE RELATIVA DO AR

A umidade relativa do ar apresenta variação significativa na comparação entre ambos os tipos de floresta (*Mann-Whitney U Test* –  $z = 8.875$   $p = 0.00$ ) e à medida que se avança ao interior nos dois tipos de floresta essa umidade vai diminuindo, como é mais bem observado na Figura 10 a seguir. A floresta intacta é mais úmida que a floresta degradada, mesmo em horário considerado crítico, apresentando-se 16,5 % mais úmida do que floresta degradada ao meio-dia e 13,8 % mais úmida às 14 horas local.

Figura 8: Umidade ao longo do dia no interior de floresta intacta, e de floresta degradada e borda de floresta degradada até 100 metros, região de Santarém, Pará. (N FD = 28, N FI = 6)



Nas áreas de borda há um ambiente menos úmido em relação ao interior do transecto, apresentando um pico de menor umidade relativa do ar entre os horários local de 12:00 e 15:00. Isso pode ser explicado pela temperatura elevada do ar que também apresenta-se maiores nestes horários, como pôde ser observado no gráfico anterior.

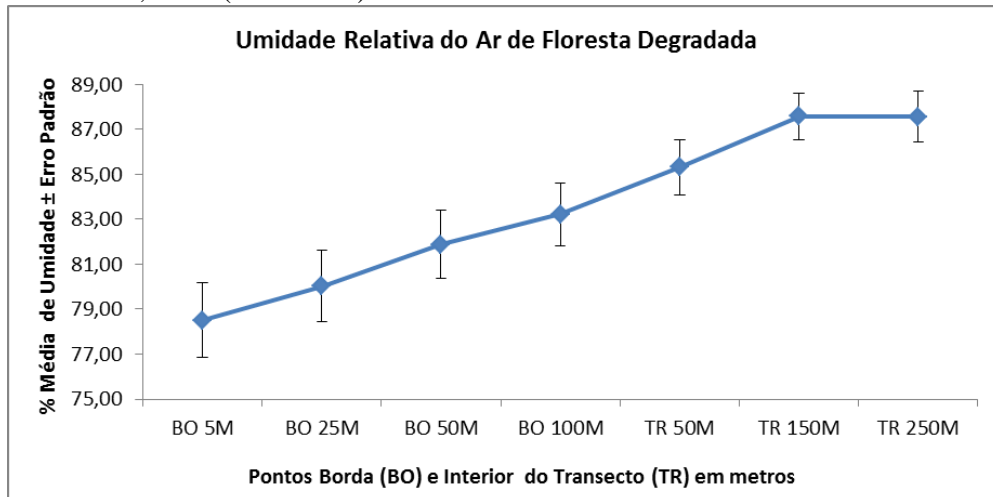
A umidade também segue um padrão à medida que se avança no transecto. Esse fato é mais acentuado com diferenças significativamente maiores na borda (Tabela 03) de Floresta Degradada, onde se tem um ambiente mais seco em relação ao seu interior.

Tabela 3: Resultados para umidade relativa do ar do interior de floresta degradada e borda, na região de Santarém, Pará, com Teste Mann-Whitney

	% de Umidade Relativa				
	Média	EP	n,n	z	p
Degradada – interior da floresta (50m, 150m e 250m)	86,8	0,7	168, 56	x	x
BO 5m	78,5	1,7	168, 56	-4.419	0.00
BO 25m	80,0	1,6	168, 56	-3.821	0.00
BO 50m	81,9	1,5	168, 56	-2.990	0.00
BO 100m	83,2	1,4	168, 56	-2.310	0.02

A borda fica até 9% mais seca que no interior da floresta, como pode ser observado na (Figura 11).

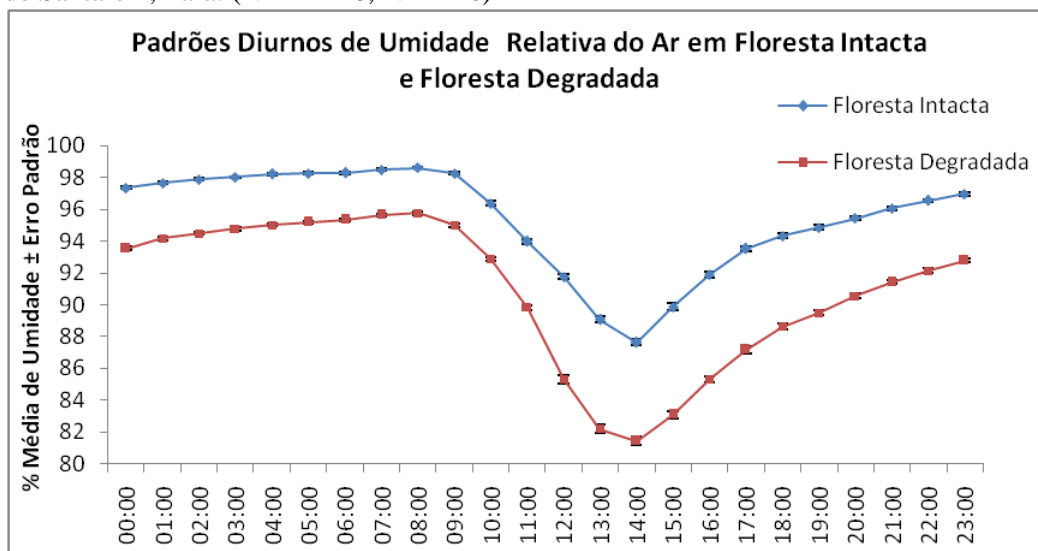
Figura 9: Umidade relativa do ar registrada em floresta degradada direção borda-interior da floresta, região de Santarém, Pará. (N FD = 28)



O padrão diurno de umidade apresentado na Figura 12 a seguir mostra o comportamento da umidade relativa do ar no interior de cada tipo de floresta (intacta e degradada) em 150 metros do transecto, onde também se confirma um período crítico mais seco entre 12:00 e 15:00 horário local, coerente com o aumento de temperatura nos mesmos horários, como mostrado na Figura 09 anteriormente.

Nas análises aqui apresentadas foi encontrada, em média, ao meio-dia, a diferença de umidade relativa do ar entre floresta intacta e degradada, que chegou a ser de 6,5%, com mínimo de 62% em floresta degradada.

Figura 10: Padrão diurno de umidade relativa do ar registrada em floresta intacta e degradada, na região de Santarém, Pará. (N FD = 28, N FI = 6)



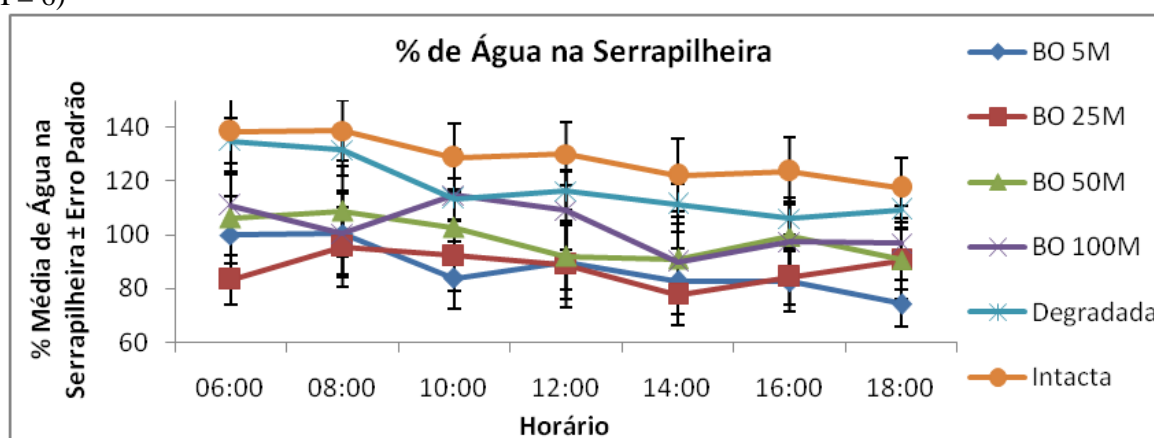
Nepstad et al, (1999), em estudo conduzido na região de Paragominas – Pará, encontrou temperaturas do ar 10°C mais alta em floresta explorada degradada do que em floresta intacta, devido a redução drástica na cobertura do dossel deste tipo de floresta. Desta forma, o déficit de pressão do vapor foi quatro vezes mais alto em relação ao interior de florestas intactas, logo, a camada de serrapilheira secou muito mais rapidamente do que me floresta intacta. E constatou que o teor de umidade do ar ficou abaixo do limiar de inflamabilidade (aproximadamente 15%, UHL;KAUFFMAN, 1990) após 5-6 dias sem registros de chuva, enquanto que a floresta intacta manteve-se acima do limiar, mesmo após 14 dias sem chuva.

#### 4.5 - UMIDADE DO COMBUSTÍVEL FINO – SERAPILHEIRA

A umidade de tipos de combustíveis (por exemplo, Serapilheira, resíduos lenhosos finos e resíduos lenhosos grossos, etc) e a disposição destes combustíveis são importantes na previsão de potenciais riscos de incêndio. Para este estudo foi realizado a análise de umidade de combustível fino, a Serapilheira (Figura 13).

Essa umidade foi avaliada pela quantidade de água na mesma (em %), calculada através da fórmula:  $[(\text{peso da massa em campo} - \text{peso seco}) / (\text{peso seco})] \times 100$ . Nesta variável também há diferença significativamente maior na floresta intacta, onde a Serapilheira é mais úmida, do que em floresta degradada (*Mann-Whitney U Test* –  $z = 7.885$   $p = 0.00$ ).

Figura 11: Umidade do combustível fino (Serapilheira) no interior de floresta intacta e degradada e borda de floresta degradada até 100 metros ao longo do dia, região de Santarém, Pará. (N FD = 28, N FI = 6)



A Serapilheira também apresenta um período crítico de secagem, entre 12:00 e 15:00 horas local, o que é explicado pela elevada temperatura do ar neste período e menor umidade

relativa. Variáveis que sofrem a interferência da abertura do dossel o que permite a maior dessecação da Serapilheira no chão da floresta. Foi possível observar que a Serapilheira é até 13,8% mais úmida em floresta intacta no horário crítico de meio-dia do que em floresta degradada.

Uhl;Kauffman (1990) mediram a inflamabilidade das florestas em Paragominas – PA, e perceberam que a umidade acompanhou o ritmo diário de umidade relativa do ar, porém o combustível não secou o suficiente a ponto de ficar inflamável. A perda de umidade da serrapilheira da floresta intacta foi intermediária em relação às florestas exploradas, e secundárias. Constataram ainda, que a camada de serrapilheira no chão da floresta só pode pegar fogo quando o seu teor de umidade ultrapassa o limite de 15%. Desta forma, a floresta explorada poderia pegar fogo após uma ou duas semanas sem chuva enquanto que as florestas intactas necessitariam de semanas de estiagem para se tornar inflamável.

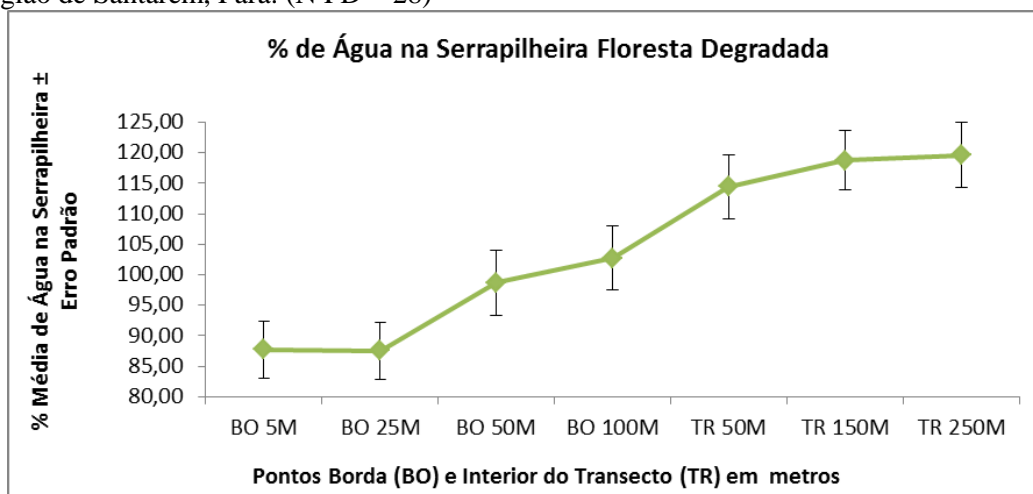
Na floresta degradada comparando a borda em relação ao seu interior também verificou-se diferenças significativamente maiores na borda, apresentadas na Tabela 04. A Serapilheira na borda é 31% mais seca que no seu interior.

Tabela 4: Resultados para Umidade de Combustível Fino do interior e bordas de Floresta Degradada, região de Santarém, Pará, com Teste Mann-Whitney

<b>% de Água na Serapilheira</b>					
	<b>Média</b>	<b>EP</b>	<b>n,n</b>	<b>z</b>	<b>p</b>
Degradada – interior da floresta (50m, 150m e 250m)	117,6	2,9	168, 56	x	x
BO 5m	87,7	4,6	168, 56	-5.085	0.00
BO 25m	87,5	4,7	168, 56	-5.200	0.00
BO 50m	98,7	5,3	168, 56	-3.390	0.00
BO 100m	102,7	5,2	168, 56	-2.652	0.00

Como já era esperado, devido ao efeito de borda, a Serapilheira é mais seca na borda até 100 metros do fragmento e, posteriormente, já no interior, a umidade se eleva como é possível verificar na Figura 14 a seguir.

Figura 12: Umidade de combustível fino (Serapilheira) em floresta degradada direção borda-interior da floresta, região de Santarém, Pará. (N FD = 28)



Ray et al, (2010) desenvolveram um modelo empírico de dinâmica de umidade do combustível fino (serrapilheira) e testaram em tipos florestais, na Floresta Nacional de Tapajós na Região de Santarém – Pará, e perceberam que houve diferenças marcantes nas taxas de perda de umidade da serapilheira localizada sob os diferentes níveis de abertura do dossel. Compatível com as expectativas, a umidade da serrapilheira diminuiu nas áreas onde dossel era mais aberto, ou seja, assim como neste estudo, em áreas de florestas que sofreram degradação, e neste caso, especialmente nas bordas das florestas degradadas.

Ray et al, (2010) baseados em médias de umidade da serrapilheira das áreas estudadas, verificaram que era igual ou inferior ao limiar de inflamabilidade de 23% a 29% quando essas áreas foram visitadas ao meio-dia durante a estação seca. Embora essa tenha sido uma ocorrência bastante comum para as florestas degradadas e em regeneração, esse limite nunca foi ultrapassado nas florestas intactas e o valor correspondente de umidade de serrapilheira nunca ficou abaixo de 70%.

Consistente com resultados de estudos anteriores (Uhl et al, 1988; Holdsworth;Uhl, 1997; Blate, 2005; Ray et al, 2005), observaram que os combustíveis finos sub-bosque secam rapidamente quando a cobertura do dossel é esparsa, contudo permanecem relativamente úmido, e, portanto, resistente à propagação de incêndios, quando o dossel é denso, apesar de estarem sujeitos às mesmas condições de tempo.

Sabe-se que incêndios ocorrem principalmente em florestas onde o dossel é danificado. Uma maior abertura do dossel eleva aquecimento solar e fluxo de ar, que seca rapidamente a serapilheira e outros combustíveis de superfície (BAKER et al, 2004).

Devido a este fator, há alterações no microclima de sub-bosque, com maiores amplitudes de temperatura do ar exatamente nestas aberturas. As altas temperaturas levam

consequentemente a um ambiente mais seco, alterando os padrões de umidade relativa do ar, principalmente, em florestas degradadas que apresentam efeito de borda, onde os efeitos da alta luminosidade e velocidade dos ventos são mais acentuados.

O teor de umidade do combustível fino, a serrapilheira, apresenta taxas de secagem que varia em função da elevação da temperatura do ar e diminuição a umidade relativa do ar, onde se tem as maiores aberturas do dossel. Diante disso, a hipótese de que a floresta em determinado período do dia fica mais quente e mais seca, fica confirmada a partir dos resultados obtidos de umidade relativa e temperatura do ar, assim como pela umidade da serrapilheira e taxa de abertura do dossel.

#### 4.6 RELAÇÕES ENTRE PRÁTICAS DE MANEJO E RISCO DE INCÊNDIOS

A mudança da cobertura do solo nos trópicos também tem exacerbado o problema do fogo, principalmente pela prevalência de ecossistemas com grande potencial inflamável (como as pastagens) e pela conexão entre eles. No passado, as áreas agrícolas e as pastagens existiam como ilhas de vegetação de fácil ignição, em grandes áreas de floresta úmida, imunes a incêndios. No entanto, com o desenvolvimento da região, os remanescentes florestais tornam-se cada vez mais fragmentados e cercados por grandes áreas de capim inflamável. A conectividade entre esses dois ecossistemas inflamáveis resulta em uma chance maior de cada incêndio escapar para áreas adjacentes, aumentando assim, os danos econômicos, causados pelo fogo e o total da área exposta a este.

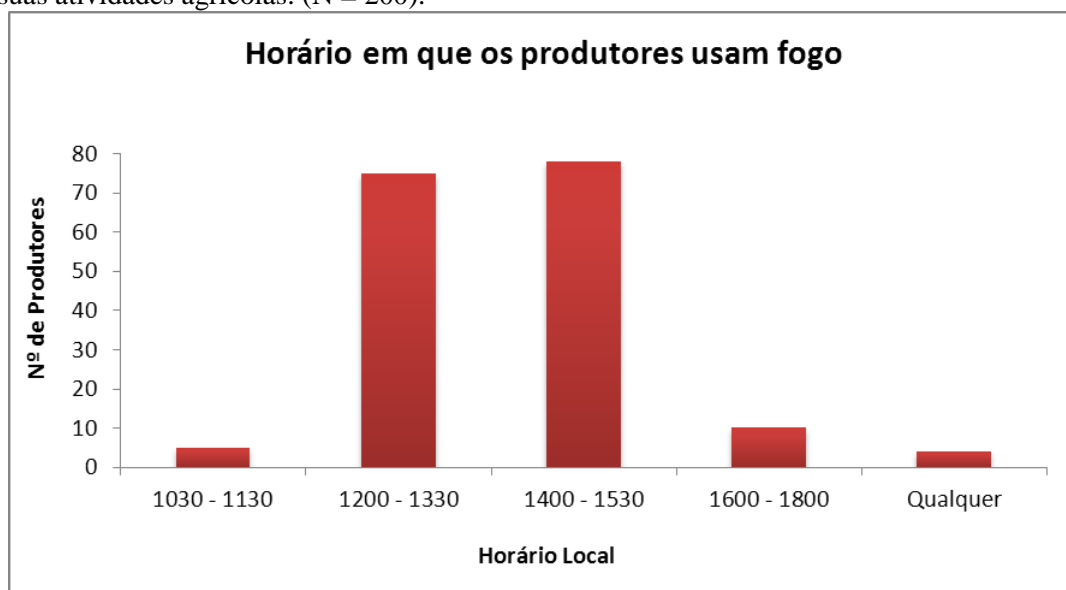
Na região de Santarém-PA foram entrevistados 200 produtores rurais, que possuem propriedades de diferentes tamanhos, dos quais a maioria (60,5%) é de pequenos produtores, com terras entre 1-50 ha. Em contrapartida, extensas áreas produtivas (39,5%) pertencem a médios e grandes produtores rurais, com propriedades acima de 51 ha. Entre os produtores rurais entrevistados, a maior parte (88%) revelou fazer uso do fogo em suas práticas de manejo e preparo da terra. Desses usuários, 95% possuem propriedades de 1-50 ha, ou seja, são pequenos produtores, que utilizam o fogo como principal ferramenta de preparo e limpeza da terra, que produzem em pequena escala e tem menor poder aquisitivo. Os outros 5% possuem propriedades acima de 51 ha.

Os dados coletados através da entrevista na região de Santarém- PA mostraram que os produtores rurais frequentemente utilizam o fogo em horários que podem variar desde 10h30min até às 18h00min.

Para efeito deste estudo, a partir dos dados de umidade relativa do ar e temperatura do ar apresentados anteriormente, verificou-se que os horários em que há temperaturas mais elevadas e umidades mais baixas, são entre 11h00min e 15h00min, período considerado crítico, devido às florestas do entorno das propriedades estarem mais susceptíveis ao fogo que por ventura venham fugir de controle, de forma acidental.

Neste contexto, verificou-se que a maioria dos usuários coloca fogo na área agrícola entre 12h00min-13h30min (75 produtores) e 14h00min-15h30min (78 produtores), ou seja, em horários considerados críticos para o manejo do fogo. Já uma minoria de produtores usa o fogo em um horário menos crítico do dia, como 10h30min-11h30min (05 produtores) e 16h00min-18h00min (10 produtores). Houve ainda aqueles que podem manejar o fogo em qualquer horário do dia (04 produtores), podendo ou não ser em horário crítico (Figura 15).

Figura 13: Horário em que os produtores rurais da região de Santarém-PA frequentemente manejam fogo em suas atividades agrícolas. (N = 200).



No que diz respeito ao escape de fogo, apenas 8,5% dos usuários afirmaram que perderam o controle do fogo, que veio a ocasionar incêndios e prejuízos em benfeitorias, plantações e área de floresta. Destes, 94,1% usualmente queimam no horário mais crítico, entre 12 horas e 15 horas.



#### 4.6.1 Influência de treinamento de uso de fogo e tamanho das propriedades na adoção de boas práticas de manejo de fogo

Foi analisada a questão do treinamento de uso de fogo e os tamanhos de propriedades na região estudada, a fim de saber se há influência na adoção de boas práticas de manejo do fogo.

Em relação ao treinamento, foi observado que tem sim um efeito significativo, principalmente no que se refere à prática de queimar contra o vento e ao esperar a primeira chuva antes de colocar fogo, assim como não queimar em horário crítico (fracamente significativo), como pode ser observado na Tabela 05 a seguir.

Tabela 5: Influência de treinamento de fogo na adoção de boas práticas de manejo do fogo na região de Santarém, Pará

Prática	Treinados		Não Treinados		Estatística	
	Sim (%)	Não (%)	Sim (%)	Não (%)	X <sup>2</sup>	P
Aceiro	96	4	89,1	10,9	1,387	0,2389
Contra Vento	84	16	61,2	38,8	5,399	0,0202*
1ª Chuva	80	20	57,9	42,1	4,735	0,0296*
Horário Crítico	83,3	16,7	95,1	4,9	3,621	0,0570

No que se refere ao tamanho das propriedades, que foram divididas em duas categorias 1-50 ha (considerados neste estudo como pequenos produtores) e 51+ ha (considerados como médios e grandes produtores), os resultados mostraram que o tamanho da propriedade não influencia nas boas práticas de manejo de fogo, pois não há diferença significativa, exceto para a espera da primeira chuva, como pode ser observado na Tabela 06.

Tabela 6: Influência de tamanho da propriedade na adoção de boas práticas de manejo do fogo na região de Santarém, Pará

Prática	1-50 ha		51+ ha		Estatística	
	Sim (%)	Não (%)	Sim (%)	Não (%)	X <sup>2</sup>	P
Aceiro	89,4	10,6	91,7	8,3	0,237	0,6266
Contra Vento	52,3	47,7	78,0	22,0	0,073	0,7871
1ª Chuva	64,0	36,0	66,1	33,9	11,225	0,0008*
Horário Crítico	92,8	7,2	94,7	5,3	0,241	0,6237

O manejo do fogo na região de Santarém - PA predomina como ferramenta agrícola no preparo e uso da terra para conversão de áreas de florestas em áreas para plantações, pastagens, principalmente para os pequenos produtores que possuem menor poder aquisitivo.

As propriedades rurais na Amazônia possuem grande variação e demanda uma análise diferenciada de uso de fogo, uma vez que o pequeno produtor, o agricultor de subsistência, que se esforça para sobreviver em propriedades menores, usa o fogo de forma diferente dos grandes produtores, que é capaz de observar suas terras de avião (NEPSTAD et al, 1999).

Os grandes produtores possuem maior poder aquisitivo, podendo desta forma adotar práticas alternativas ao uso do fogo, como máquinas, roçadeiras, além de acesso a mão de obra necessária, caso utilizem fogo, para controlá-lo. Já para pequenos produtores são a única alternativa para limpar a terra, controlar plantas invasoras, entre outros.

Além das questões de escala, é preocupante que os incêndios florestais possam iniciar um ciclo de retroalimentação positiva, ao aumentar a susceptibilidade ao fogo (Cochrane & Schulze, 1998, Cochrane et al 1999). Sob condições climáticas apropriadas, até mesmo grandes áreas de florestas não afetadas podem pegar fogo.

A nova dinâmica do fogo para várias florestas tropicais é a de frequentes queimas penetrando na floresta e aumentando a severidade dos incêndios. O primeiro incêndio é lento, formando uma camada superficial de apenas alguns décímetros de altura (Cochrane & Schulze, 1998). Na maioria dessas áreas, o fogo consome muito pouco além da serrapilheira. Essa linha de fogo superficial pode se mover cerca de 100 a 150 metros por dia, mas pode se manter assim por dias, semanas ou meses (Schindele et al., 1989; UNDAC, 1998; Cochrane et al., 1999). Se o clima está frio ou se uma chuva fina cai, o fogo pode simplesmente não pegar. No entanto, grandes quantidades de material inflamável, como pedaços de troncos e galhos caídos, podem manter o fogo latente ou reiniciá-lo por semanas. Muitas áreas serão queimadas novamente, enquanto as folhas caírem das árvores e cobrirem o solo da floresta meses (Schindele et al., 1989; Cochrane et al., 1999).

#### **4.6.2 O efeito de borda nas florestas degradadas e sinergia das interferências**

Para as florestas degradadas de Santarém, o efeito de borda foi estudado até 100 metros floresta adentro, para que desta forma se avaliasse o efeito sobre a inflamabilidade da floresta.

Alterações microclimáticas geralmente estão associadas às alterações causadas pela fragmentação do habitat. Nas bordas ocorre aumento de iluminação e temperatura, bem como

diminuição da umidade do ar e do solo. Em função de tais alterações, as bordas dos fragmentos florestais geralmente são mais secas que seu interior (KAPOS et al, 1997).

Kapos (1989) relatou aumentos de temperatura e déficit de pressão de vapor (medida da capacidade do ar em promover a evaporação) em faixa de borda de pelo menos 60 metros de largura do fragmento florestal na Amazônia; Laurence (1991), também na Amazônia, encontrou variações fisionômicas e florísticas em faixa de 200 metros de borda associadas às mudanças ambientais.

Os efeitos de borda podem ser estimados de diferentes maneiras. Por exemplo, em Sinope – Mato Grosso, estima-se que 1.149 km<sup>2</sup> foram afetados pelo colapso da biomassa (Laurence et al., 1997) ou que 2.882 km<sup>2</sup> sofreram uma alta mortalidade de grandes árvores (Laurence et al., 2000). As florestas amazônicas com clima e forma de uso da terra similar podem alterar regimes de fogo, que se estendem por mais de 2 km das bordas das florestas (Cochrane, 2001; Cochrane & Laurance, 2002).

As alterações da comunidade vegetal nas bordas são proporcionais à intensidade das alterações ambientais e ao tempo decorrido desde a fragmentação. Como consequência, as bordas comumente apresentam acúmulo de biomassa de gramíneas e lianas (Primack;Rodrigues, 2003) e menor umidade, tornando-se mais suscetíveis a incêndios mais intensos do que o interior das florestas (COCHRANE, 2003).

Esforços para conhecer e compreender os efeitos do fogo sobre as florestas tropicais no Brasil são relativamente recentes. Mas atualmente, estudos dessa natureza têm sido motivados por sua importância na emissão de gases do efeito estufa, potencializando os danos causados pelo aquecimento global (Fearside, 2002) e pelos impactos ecológicos dos incêndios (COCHRANE, 2003). Entretanto, a maior ameaça representada pelo fogo nas florestas tropicais diz respeito a seus impactos ecológicos. Os principais efeitos do fogo nos processos ecológicos de florestas tropicais são perdas nos estoques de biomassa, alterações no ciclo hidrológico e de nutrientes (Salati;Vosep, 1984) e o empobrecimento das comunidades animais e vegetais nativas (PRIMACK & RODRIGUES, 2003).

Aparentemente, a frequência de incêndios está relacionada às alterações estruturais a que estão sujeitos os fragmentos florestais: áreas degradadas sujeitas a mudanças microclimáticas tornam-se mais secas e, portanto, mais sujeitas a incêndios (Cochrane, 2003; Uhl;Kauffman, 1990). Nas bordas, observa-se o aumento da luminosidade, diminuição da umidade e maior número de árvores mortas, em relação ao interior da floresta (Laurence et al, 2001); é comum, ainda, a alta densidade de cipós e de gramíneas exóticas oriundas das

pastagens vizinhas. A umidade mais baixa e a maior disponibilidade de material inflamável tornam os fragmentos mais propensos a incêndios frequentes (COCHRANE, 2003).

Para a floresta amazônica, os estudos acerca da resposta das comunidades florestais ao fogo constataram a perda de riqueza e diferentes capacidades de resposta dos ecossistemas em função da intensidade do fogo e de outras perturbações antrópicas (Uhl et al. (1981), Uhl et al. (1982), Uhl;Buschascher (1985), Fearside (1990), Uhl;Kauffman (1990), Kauffman;Uhl (1990), Kauffman (1991), Cochrane;Schulze (1999) e Ivanauskas et al (2003)).

É claramente perceptível o efeito de borda nas florestas degradadas da região de Santarém, e estes efeitos podem influenciar substancialmente a inflamabilidade da floresta, favorecendo desta forma possíveis incêndios florestais.

Todas as variáveis apresentadas nos resultados seguem um padrão, onde a medida em se entra no interior da floresta vai se modificando, porém não chegam a se estabilizar, o que sugere que os efeitos de borda nestas áreas podem se estender além de 100 metros. As bordas das florestas degradadas apresentam características mais propícias a incêndios, e, portanto, podem ser mais inflamáveis que seu interior durante o dia.

#### **4.6.3 – Impacto do fogo e futuro das florestas**

Entre os impactos previstos pelo IPCC (2007), para a região amazônica estão: a savanização de grande parte do bioma amazônico no leste da região, aumento das secas durante o período mais quente do ano, aumento da incidência de incêndios florestais, inundações e erosões nas áreas mais baixas e próximas ao litoral, aumento na incidência de doenças como malária e dengue.

Apesar desta catástrofe anunciada, pode-se questionar se é o clima que terá características de savana e não toda a floresta que desaparecerá de imediato, pois, o tempo biológico para esta transformação seria necessariamente mais extenso.

Este processo também deverá criar condições favoráveis ao aumento na incidência de incêndios florestais cada vez mais intensos e com maior dificuldade de controle devido à redução da umidade na floresta (NEPSTAD et al, 2001). Sugere-se ainda, um aumento na incidência de doenças tropicais como malária e dengue, devido principalmente a maiores temperaturas e pela transformação de habitats (LIESHOUT et al, 2004).

A área da região onde se prevê a maior redução de precipitação é junto à foz do Rio Amazonas. Aliado a maiores períodos de seca, redução da vazão do rio e aumento dos níveis do mar, espera-se maior incidência de inundações e erosões nas áreas mais baixas próximas

ao litoral (IPCC, 2001; 2007). Além disso, com a elevação da temperatura e redução da precipitação sobre o extremo norte da região (Jones et al, 2003), as florestas poderão entrar em colapso devido a retroações positivas no ciclo do carbono (COX et al, 2004).

O impacto mais mencionado na literatura para a Região Norte é a grande perda de biodiversidade (Higgins, 2007; Miles et al, 2004), em grande parte, ainda não identificada. Isto é, espécies que ainda não foram catalogadas ou estudadas, cujos benefícios potenciais à sociedade humana ainda não foram estimados.

O futuro das florestas degradadas nas paisagens amazônicas tende à substituição em larga escala por uma vegetação altamente inflamável e dominada por gramíneas. Como já descrito neste estudo, o fogo demanda combustível seco em abundância próximo ao chão, muito oxigênio e uma fonte de ignição (NEPSTAD et al, 1999). As pastagens são os ecossistemas mais inflamáveis da Amazônia, pois as gramíneas exposta à máxima ação da secagem do sol torna-se altamente inflamável (UHL;KAUFFMAN, 1990). Na Região de Santarém predomina o cultivo de grãos, com grandes áreas de plantação, assim como grandes áreas de pastagens, ou seja, áreas muito propensas à propagação de fogo.

Para resolver ou amenizar a problemática do fogo na Amazônia, primeiro deve-se reconhecer que este é um problema crônico na região, e conhecer o papel do fogo na área rural, já que pesquisas relacionadas ao fogo na Amazônia brasileira são virtualmente insuficiente.

Para Nesptad *et al*, 1999, um programa de pesquisa de fogo poderia testar e melhorar as técnicas de prevenção de incêndios já existentes na zona rural, e fortalecer a capacidade das organizações sociais, no sentido de reduzir riscos e prejuízos do fogo, além de medir a eficácia das iniciativas governamentais na região. Isso, aliado a estudos de campo sobre as causas da inflamabilidade da floresta, poderia proporcionar as bases para um sistema regional de alarme sobre risco de incêndios florestais.

Os benefícios seriam para a sociedade em geral, pois abordariam os custos dos incêndios para os proprietários rurais e para a sociedade como um todo, uma vez que abordaria os custos econômicos, sociais e ambientais, além de identificar os diferentes usos da terra, podendo também influenciar em medidas para evitar e controlar os prejuízos dos incêndios acidentais.

## 5 CONCLUSÕES

A vulnerabilidade da floresta ao fogo na região de Santarém-PA mostrou-se significativa, uma vez que as florestas degradadas da região apresentaram características inflamáveis, e suas bordas mais susceptíveis ao fogo que seu interior, quando comparadas as florestas intactas.

O horário em que estas florestas se apresentam mais inflamáveis em varia entre 12:00 e 15:00.

A questão do fogo na Amazônia como um todo é crítica, o treinamento de uso de fogo tem forte influência na adoção de boas práticas de manejo do mesmo, e pode ser uma das possíveis medidas para amenizar a problemática dos incêndios florestais na região, uma vez que haja incentivos governamentais para tal que atendam aos pequenos, médios e grandes produtores. O tamanho da propriedade não mostrou influência na adoção dessas boas práticas de manejo, contudo sabe-se que o uso do fogo é uma ferramenta básica para pequenos produtores, que possuem menor poder aquisitivo.

Pode-se dizer que esta vulnerabilidade das florestais da região de Santarém - PA ao fogo seja ainda maior quando há secas severas e eventos de *El Niño*. Uma vez queimada, a floresta fica mais susceptível a novos incêndios, processo este que pode ser recorrente à medida que forem se intensificando.

Desta forma, este estudo vem contribuir para melhorar o entendimento científico sobre as relações entre inflamabilidade, os padrões diurnos, estado de floresta e o efeito de borda/fragmentação, em regiões tropicais úmidas colaborando para o estabelecimento de um quadro mais unificado de classificação de perigo de incêndio, podendo assim prever o comportamento do fogo no futuro.

## REFERÊNCIAS

- ALENCAR, A. **Ameaças de fogo em áreas fragmentadas da Amazônia**. Belém: IPAM, 2007.
- AMAZONAS, T. M. M. **Estatísticas de Santarém**. Santarém-PA: Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação Geral – SEMPLAN - Núcleo Técnico de Planejamento, 2008.
- AMORIM, A.T. S. **Santarém: uma “síntese histórica”**. 1.ed. Santarém-PA: ULBRA, 2000.
- ARTAXO, P. et al. Nuvens de fumaça das queimadas alteram o clima da Floresta Amazônica. **Revista FAPESP**, n.88, p. 30-25. 2003.
- ARIMA, E.Y et al. Fire in the Brazilian Amazon: a spatially explicit model for policy impact analysis. **Journal of Regional Science**, n. 47, p.541-567. 2007.
- BAKER, T. R. et al. Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. **Science**, n.359, p. 353. 2004.
- BARLOW, J; PERES, C. A. Fogorasteiro: nova ameaça na Amazônia. **Ciência Hoje**, n. 34, p. 24-27. 2003.
- BARLOW, J *et al.* Effects of ground fires on understory bird assemblages in Amazonian forests. **Biological Conservation**, 105:157-169. 2002.
- BARLOW, J. **Ecological effects of wildfires in a Central Amazonian forest**. Norwich, UK: University of East Anglia, 2003.
- BARBOSA, R.I; FEARNSIDE, P. M. As lições do fogo. **Ciência Hoje**, 17: 35-39 2000.
- BLATE, G.M. Modest trade-offs between timber management and fire susceptibility of a Bolivian Semi-Deciduous Forest. **Ecological Applications**, v.15, n.5, p. 1649–1663. 2005.
- BRONDÍZIO, E.S. Intensificação agrícola, identidade econômica e invisibilidade de pequenos produtores amazônicos: caboclos e colonos em uma perspectiva comparada. In: ADAMS, C *et al.* **Sociedades caboclas Amazônicas: modernidade e invisibilidade**. São Paulo: AnaBlume, P 135-236. 2006.
- CASE, M. Climate change impacts in the Amazon: review of scientific literature. In: WORLD WILDLIFE FUND, 8<sup>TH</sup>; CONFERENCE OF THE PARTIES TO THE CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY, 2006, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Editor, 2006. 1 CD-ROM.
- COCHRANE, M. A; LAURANCE, W.F. Synergisms among fire, land use, and climate change in the Amazon. **Ambio**, 17: 7-8. 2008.
- COCHRANE, M.A. Fire science for rainforest. **Nature**, 421 (27): 913-919.
- 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** 32: 2-16. 1999.

COHEN, J. C. P *et al.* Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: a case study. **Monthly Weather Review**, 123, 11, 3163-3174, 1995.

CORREIA, F.W. S *et al.* Balanço de umidade na Amazônia e sua sensibilidade às mudanças na cobertura vegetal. São Paulo: **Ciência e Cultura – Mudanças Climáticas/Artigos**, Vol.59. n3. 2007.

COX, P.M.; BETTS, R. A.; COLLINS, M.; HARRIS, P. P.; HUNTINGFORD, C.; JONES, C. D. Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21<sup>st</sup> Century. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 78, p. 137-156, 2004.

CLIMANÁLISE, Nov/2011. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>> Acessado em 27/07/2012.

CHAMBERS, J.Q *et al.* Decomposition and carbon cycling of dead trees in tropical forests of the central Amazon. **Oecologia** 122, 380–388. 2000.

DIAZ, M.C.V et al. **O preço oculto do fogo na Amazônia**: os custos econômicos associados às queimadas e incêndios florestais. Belém: 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, 2002. (Relatório).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA).**Relatório ZEE BR-163**. Belém, 2008. (Relatório socioeconômico).

FEARNSIDE, P.M. Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia brasileira. **Estudos Avançados** 16 (44), 2002.

FEARNSIDE, P. M. **A floresta amazônica nas mudanças**. Manaus: INPA, 2003. 134 p.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. **Megadiversidade**, vol.01, n 01. 2005.

FISCH, G; MARENGO, J. A ; NOBRE, C. A . Clima da Amazônia. **Climanálise Especial**, Edição Comemorativa de 10 anos, 24-41. 1996.

FITZJARRALD, D.R *et al.* Spatial and temporal rainfall variability near the Amazon - Tapajós confluence. **Journal of Geophysical Research**, Vol. 113. 2008.

GESISKY, J. Secas severas na Amazônia deixam cientistas em alerta. **Clima e Floresta**. Edição 29-264.2011. Disponível em: <<http://www.ipam.org.br/revista/Secas-severas-na-Amazonia-deixam-cientistas-em-alerta/264>>. Acesso em: 17/02/2011.

HECHT, S; COCKBURN, A. **The fate of the forest: developers, destroyers and defenders of the Amazon**. London: Penguin, 1989.

HIGGINS, P.A.T. Biodiversity loss under existing land use and climate change: an illustration using northern South America. **Global Ecology and Biogeography**, v. 16, n. 2, p. 197-204.2007.



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

INSTITUO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio).**FLONA Tapajós**. Disponível em: <[http://www4.icmbio.gov.br/flona\\_tapajos/](http://www4.icmbio.gov.br/flona_tapajos/)>. 2009. Acesso em: 12/02/2011.

(IPCC). Climate change 2001: the scientific basis. **Contribution of working group I to the third assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University, 2001.

(IPCC).Mudanças climáticas 2007: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade. **Contribuição do Grupo de Trabalho II ao Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima**. Bruxelas, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE).**Mapa de biomas e de vegetação 2004**  
<[http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\\_visualiza.php?id\\_noticia=169](http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=169)>  
Acesso em 14/02/2012.

IVANAUSKAS, N.M et al. Alterations following a fire in a forest community of Alto Rio Xingu. **Forest Ecology and Management**,n.184, p. 239-250.2003.

KAPOS, V. Effects of isolation on the water status of forest patches in the Brazilian Amazon. **Journal of Tropical Ecology** 5 (2) 3–185. 1989.

KAPOS, V et al. Edge-related changes in environment and plant responses due to forest fragmentation in Central Amazonia. In: LAURANCE, W.F. ;BIERREGAARD, R.O. **Tropical forest remnants: ecology, management and conservation of fragmented communities**.Chicago:The University of Chicago Press, 1997. p.33-44.

LAURENCE, W.F *et al.* 2001.The Future of the Brazilian Amazon. **Science** 291, 438-439.

LAURANCE, W.F & NASCIMENTO, H.E.M. Efeitos de área de borda sobre a estrutura florestal em fragmentos de floresta de terra-firme após 13-17 anos de isolamento. **Acta Amazonica** 36 (2) 183-192. 2006.

LAURANCE, W.F. 1991. Edge effects in tropical forest fragments: applications of a model for the desing of nature reserves. **Biological Conservation** 57 (2): 205-219.

LEWIS, S.L, *et al.* The 2010 Amazon drought. **Science**, 331, 554. 2011.

LIESHOUT, M.V.; KOVATS, R.S.; LIVERMORE, M.T.J.; MARTENS, P. Climate change and malaria: analysis of the SRES climate and socio-economic scenarios. **GlobalEnvironmental Change**, v. 14, n. 1, p. 87-99, 2004.

MALHI, Y.J, *et al.* Climate change, deforestation and the fate of the Amazon. **Science**, 319: 169-172.2008.

- MARENGO, J.A. *et al.* The drought of Amazonia in 2005. **Journal of Climate**, 2007.
- MAUÉS, M.M & OLIVEIRA, P.E.A.M. Consequências da fragmentação do habitat na ecologia reprodutiva de espécies arbóreas em florestas tropicais, com ênfase na Amazônia. **Oecologia Australis**, 14: 238-250. 2010.
- MILES, L.; GRAINGER, A.; PHILLIPS, O. The impact of global climate change on tropical biodiversity in Amazonia. **Global Ecology and Biogeography**, v. 13, p. 553-565, 2004.
- MORAN, E. Government-directed settlement in the 1970s: an assessment of Transamazon Highway colonization. In: M. Schmink and C. H. Wood (Eds.). **Frontier expansion in Amazonia**. University of Florida Press, Gainesville, Florida, 1983.
- MOURA, M. A. L. *et al.* Evidência observacional das brisas do lago de Balbina (Amazonas) e seus efeitos sobre a concentração do ozônio. **Acta Amazônica**, v.34, n. 4, p. 605-611, oct./dec. 2004.
- NEPSTAD, D.C *et al.* The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forests and pastures. **Nature**, 372: 666-669. 1994.
- NEPSTAD, D.C *et al.* **Floresta em chamas: origens, impactos e prevenção do fogo na Amazônia**. Programa Piloto para Proteção das Florestas Tropicais no Brasil. Brasília, 1999. 202 p.
- NEPSTAD, D.; CARVALHO, G.; BARROS, A.C.; ALENCAR, A.; CAPOBIANCO, J.P.; BISHOP, J.; MOUTINHO, P.; LEFEBVRE, P.; LOPES SILVA JR., U.; PRINS, E. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. **Forest Ecology and Management**, v. 154, n° 3, p. 395-407, 2001.
- NOBRE, C.A *et al.* Mudanças climáticas e a Amazônia. São Paulo: **Ciência e Cultura – Mudanças Climáticas/Artigos**, Vol.59. n3. 2007.
- NOBRE, P.; Shukla, J. Variations of SST, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, v. 9, p. 2464-2479, 1996.
- PALMER, D.C. **Meteorological Drought**. U.S. Weather Bureau, Washington, D.C. 1965, Paper Research N° 45.
- PEDROSO, N, N, J *et al.* A agricultura de corte e queima: um sistema em transformação. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, Belém, v. 3, n. 2, p. 153-174. 2008.
- PEREIRA, D *et al.* **Fatos florestais: a Amazônia**. IMAZON, 2010.
- POSEY, D. Os Kayapó e a natureza. **Ciência Hoje**, v. 2, n. 12, p.35-41. 1984.
- PRIMACK, R.B & RODRIGUES, E. 2001. **Biologia da Conservação**. Londrina, E.Rodrigues.

PRODES, Programa de Monitoramento do Desmatamento da Amazônia brasileira. **Taxas atuais de desmatamento 2011**. Disponível em: <[http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes\\_1988\\_2011.htm](http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2011.htm)> Acesso em: 19/06/2011.

RAVEN, P.H. **Our diminishing tropical forest**. 119-112. In E.O. Wilson (ed.). National Academy Press, Washington DC, USA. 1988.

RAY, D *et al.* Predicting moisture dynamics of fine understory fuels in a moist tropical rainforest system: results of a pilot study undertaken to identify proxy variables useful for rating fire danger. **New Phytologist**, 187: 720–732. 2010.

SALATI, E. & VOSEP. B. 1984. Amazon Basin: a system in equilibrium. **Science** 225:129-138.

SANTARÉM. **Aspectos gerais de Santarém**. Prefeitura Municipal. Disponível em: <<http://www.santarem.pa.gov.br/conteudo>> em Município. Acesso em: 10/02/2011.

SHAFER, C.L. **Nature reserves: island theory and conservation practice**. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C. 1990.

SINHA, A.;BRAULT, S. Assessing sustainability of nontimberforest product extractions: how fire affects sustainability. **Biodiversity and Conservation**, n.14, p.3537-3563. 2005.

SOUZA, E; *et al.* On the influences of the el Niño, la Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. **Acta Amazônica**, v. 30, n. 2, p. 305-318. 2000.

SOUZA, E.B.De *et al.* Precipitação sazonal sobre a Amazônia oriental no período chuvoso: observações e simulações regionais com o regcm3 - **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.2, 111-124, 2009

SORRENSEN, C. Contributions of fire use study to land use/cover change frameworks: understanding landscape change in agricultural frontiers. **Human Ecology**. 32:395-420. 2004.

UHL, C;KAUFMANN, J.B. Deforestation, fire, susceptibility and a potential tree responses to fire in the Eastern Amazon. **Ecological Society of America**, 17: 437-449. 1999.

UHL, C; BUSCBACHER, R. A disturbing synergism between cattle ranch burning practices and selective tree harvesting in the Eastern Amazon. **Biotropica**, 17: 265-268. 1985.

UHL, C *et al.* Fire in the Venezuelan Amazon: environmental conditions necessary for forest fires in the evergreen rainforest of Venezuela. **OIKOS**, 5 3: 176-184. 1988.

WALKER, R *et al.* Ranching and the new global range: Amazonian in the 21 st. **Geoforum**, 40: 732-745. 2009.