



Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Instituto de Florestas
Curso de Graduação em Engenharia Florestal

CATHERINE TORRES DE ALMEIDA

Dinâmica das mudanças climáticas na região amazônica baseada em dados meteorológicos e satélites ambientais

Prof. Dr. José Francisco de Oliveira Júnior
Orientador

Seropédica-RJ
Fevereiro - 2014



Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Instituto de Florestas
Curso de Graduação em Engenharia Florestal

CATHERINE TORRES DE ALMEIDA

Dinâmica das mudanças climáticas na região amazônica baseada em dados meteorológicos e satélites ambientais

Prof. Dr. José Francisco de Oliveira Júnior
Orientador

Monografia apresentada ao Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheira Florestal.

Seropédica-RJ
Fevereiro - 2014

**DINÂMICA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA REGIÃO AMAZÔNICA
BASEADA EM DADOS METEOROLÓGICOS E SATÉLITES AMBIENTAIS**

CATHERINE TORRES DE ALMEIDA

Monografia aprovada em 05 de fevereiro de 2014.

Prof. Dr. José Francisco de Oliveira Júnior
UFRRJ/IF/DCA
Orientador

Prof. Dr. Rafael Coll Delgado
UFRRJ/IF/DCA
Membro

Msc. Givanildo de Gois
UFRRJ/IF/DCA
Membro

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a idealizadora desta monografia, pela orientação durante meu intercâmbio, atenciosidade e profissionalismo: Maria Concepción Ramos, meus ¡Muchas gracias! Também sou muito grata ao meu orientador José Francisco de Oliveira Júnior, por acolher esta ideia, sempre interessado em contribuir, e dar continuidade ao desenvolvimento deste trabalho, trazendo muitas ideias que vieram a complementá-lo e engrandecê-lo.

À Priscilla Cubo e à Rafael Coll Delgado por suas opiniões e contribuições para este trabalho.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro por proporcionar um ensino público de qualidade.

Ao governo brasileiro e ao CNPq pela oportunidade de participar do Programa Ciência sem Fronteiras, ampliando minhas visões do meio acadêmico, da sociedade e do mundo.

A todos os meus professores, que sabiamente compartilharam o conhecimento comigo. Em especial a Wagner de Souza Tassinari, Maria Cristina A. Lorenzon e Alexandre Monteiro de Carvalho, por oportunizarem diversas experiências acadêmicas grandiosas.

Não posso deixar de agradecer aos meus orientadores para a vida: meus pais, Patricia Carlos Torres de Almeida e Nelson da Silva Almeida; meus avós, Anizio Pereira Torres e Maria Aparecida Carlos Torres; meu tio Arthur Carlos Torres; meus irmãos Caroline e Gustavo; meus sogros Marilda e José Ricardo; meus amigos Daniele Einert, Juliana Fontoura, Juliane S. Francisco, Manuela Sampaio, Suzane de Andrade, Lizane B. Villas, Éllen Bianchi, Saravanan Arumugan; e meu marido José Ricardo de O. Nascimento Júnior. Obrigada por fazerem com que minha vida tenha sentido.

Agradeço a todos que de alguma forma fizeram parte da minha história até o presente momento.

RESUMO

ALMEIDA, Catherine Torres. **Dinâmica das mudanças climáticas na região amazônica baseada em dados meteorológicos e satélites ambientais**. 2014. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2014.

Este trabalho teve como objetivo investigar a ocorrência de mudanças climáticas na região Amazônica no período de 35 anos, bem como avaliar a dinâmica entre as variáveis climáticas, o modo de variabilidade climática El Niño - Oscilação Sul (ENOS) e modificações do uso da terra (incêndios, desmatamento e crescimento populacional). Para tanto, utilizaram-se dados climáticos de sete estações meteorológicas convencionais de municípios do estado do Amazonas (1977-2011) (Barcelos, Coari, Codajás, Itacoatiara, Manaus, Manicoré e Parintins), dados de anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Oceano Pacífico (1977-2011) e dados indicativos do uso da terra: focos de calor (1998-2011), taxas de desmatamento (1977-2011) e populacionais (1970-2010). Algumas variáveis foram calculadas a partir dos dados originais: amplitude térmica, número máximo de dias consecutivos secos (CDD - Consecutive Dried Days), número de dias com temperatura máxima (TX90p) e mínima (TN90p) extrema e índice de risco de incêndios florestais (FMA e FMA⁺). Observou-se uma tendência de aumento da média anual da temperatura mínima e do TN90p em todas as regiões estudadas, e da temperatura máxima e TX90p, na maioria dos municípios, exceto a localidade de Barcelos. O aumento da temperatura e número de dias quentes apresentou relação com a taxa anual de desmatamento regional nos municípios estudados, exceto em Parintins, e com o aumento populacional (exceto em Codajás). Em Coari e Manicoré, o aumento da temperatura e número de dias quentes também apresentou relação com a frequência anual de focos de calor. Em Barcelos e Coari, houve tendência de diminuição da amplitude térmica, que apresentou correlação negativa significativa com o desmatamento regional e o crescimento populacional. Somente Manaus apresentou tendência positiva na média anual de precipitação e Manicoré e Parintins, no número de dias consecutivos secos por ano. Porém, avaliando a precipitação e a severidade da seca durante o período seco (médias mensais), verificou-se que na maioria dos municípios, com exceção de Itacoatiara, existe uma tendência de aumento da seca neste período, o que favoreceu no aumento do risco de incêndios florestais na estação seca. Os episódios de El Niño influenciaram o clima dos anos em que ocorreu à categoria forte, principalmente em Itacoatiara, Parintins, Manaus e Codajás, influenciando, consequentemente, na frequência de incêndios florestais. Diante dos resultados obtidos, conclui-se que o clima, a floresta e os usos da terra na região Amazônica estão fortemente interligados, de forma que mudanças em um desses componentes do sistema acarretam em modificações nos demais e, por fim impactam na dinâmica do ecossistema amazônico.

Palavras-chave: Usos da terra, queimadas, incêndios florestais, desmatamento, ENOS

ABSTRACT

ALMEIDA, Catherine Torres. **Dynamics of climate change in the amazon region based on weather data and environmental satellites**. 2014. 56 p. Final paper (Degree in Forest Engineering). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2014.

This study aimed to investigate the occurrence of climate change in the Amazon region for the period of 35 years, as well as evaluating the dynamic between climate variables, the mode of climate variability El Niño - Southern Oscillation (ENSO) and changes in the land use (forest fires, deforestation and population growth). For this, we used climate data from seven conventional weather stations in the municipalities of Amazonas state (1977-2011) (Barcelos, Coari, Codajás, Itacoatiara, Manaus, Manicoré and Parintins), data anomalies of sea surface temperature (SST) of Pacific Ocean (1977-2011) and data indicative of land use: hotspots (1998-2011), deforestation rates (1977-2011) and population data (1970-2010). Some variables were calculated from the original data: temperature range, maximum number of consecutive dry days (CDD - Dried Consecutive Days), number of days with maximum temperature (TX90p) and minimum (TN90p) extreme and index risk of forest fires (FMA and FMA⁺). There was an increasing trend of annual mean minimum temperature and TN90p in all regions studied, and maximum temperature and TX90p, in most municipalities, except the town of Barcelos. Increasing the temperature and number of hot days was correlated with the annual rate of regional deforestation in cities studied, except in Parintins, and population growth (except in Codajás). In Coari and Manicoré, increasing temperature and number of hot days also showed a correlation with the yearly number of hotspots. In Barcelos and Coari, there was a trend of decreasing temperature range, which was negatively correlated with the regional deforestation and population growth. Just Manaus showed a positive trend in annual average precipitation and Manicoré and Parintins, the number of consecutive dry days per year. However, assessing the severity of drought and rainfall during the dry period (monthly averages), it was found that in most municipalities, with the exception of Itacoatiara, there is an increasing trend of drought in this period, which favored the increased risk of forest fires in the dry season. The El Niño events influence the climate of the years in which occurred the strongest category, particularly in Itacoatiara, Parintins, Manaus and Codajás, influencing therefore the frequency of forest fires. Based on these results, we conclude that the climate, forests and land use in the Amazon region are strongly interrelated, so that changes in one of these system components cause changes in the other, and ultimately impact the ecosystem dynamics Amazon.

Keywords: Land uses, fires, forest fires, deforestation, ENSO

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1. A Amazônia.....	2
2.2. Causas das mudanças climáticas na Amazônia	3
2.3. Monitoramento por satélites da cobertura florestal Amazônica.....	4
3. MATERIAL E MÉTODOS	7
3.1. Caracterização da área de estudo.....	7
3.2. Série de dados meteorológicos	8
3.3. Dados populacionais, de desmatamento e focos de calor	9
3.4. Análise Estatística.....	11
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
4.1. Caracterização climática e análise de tendências	15
4.2. Caracterização e tendência das atividades antrópicas: crescimento populacional, desmatamento e incêndios florestais	26
4.3. Dinâmica entre mudança do clima e mudança no uso do solo.....	33
5. CONCLUSOES	40
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. O bioma Amazônico, a Amazônia Legal e a Bacia Amazônica.....	3
Figura 2. Localização das estações meteorológicas convencionais e dos sete municípios estudados no estado do Amazonas.....	7
Figura 3. Média anual da temperatura do ar (°C) mínima (a) e máxima (b) das sete estações meteorológicas convencionais no período de 1977-2011.....	17
Figura 4. Número de dias com temperaturas extremas para a estação de Manaus: temperatura máxima em (a) e mínima em (b) no período 1977-2011.....	18
Figura 5. Série temporal da precipitação pluvial anual (mm) para Manaus (1977-2011).....	19
Figura 6. Períodos secos e chuvosos dos sete municípios	21
Figura 7. Média mensal do número máximo de dias consecutivos secos para o período 1977-1996 e para 1997-2011	23
Figura 8. Dendrograma a partir das variáveis climáticas precipitação, temperatura máxima e mínima, amplitude de temperatura e dias consecutivos secos.....	25
Figura 9. Série temporal da anomalia de temperatura da superfície do mar (1977 - 2011).....	25
Figura 10. Evolução da população dos sete municípios estudados	26
Figura 11. Evolução da população dos municípios estudados, exceto Manaus	26
Figura 12. Total anual de focos de calor e densidade de focos (total de focos/área) para todas as estações (1998-2011)	27
Figura 13. Dendrograma dos focos de calor para todas as estações.....	28
Figura 14. Área desmatada total dos sete municípios entre 2000 e 2011	31
Figura 15. Relação anual entre o total de focos de calor das regiões estudadas e a área desmatada (km ² /ano) do Estado do Amazonas	32
Figura 16. Relação entre o total dos focos de calor dos sete municípios estudados e a taxa de desmatamento do estado do Amazonas.	32
Figura 17. Relação anual entre o número de focos de calor e o incremento de área desmatada (km ²) em Manicoré	33
Figura 18. Análise fatorial entre focos de calor e variáveis relacionadas para Itacoatiara, Manaus, Parintins, Codajás, Coari, Manicoré e Barcelos	37
Figura 19. Análise fatorial dos focos de calor para as sete estações	38
Figura 20. Análise fatorial dos focos de calor para as sete estações	38
Figura 21. Distribuição dos focos de calor em 2008 e 2009 na região Norte	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características dos sensores utilizados atualmente no monitoramento da cobertura florestal da região Amazônica	6
Tabela 2. Características dos municípios estudados	7
Tabela 3. Coordenadas geográficas das estações meteorológicas convencionais utilizadas	8
Tabela 4. Valores assumidos pela constante A para as 7 classes de vegetação para o RF	10
Tabela 5. Classificação do grau de risco de fogo segundo a metodologia do INPE.....	10
Tabela 6. Modificação no cálculo da FMA e FMA ⁺ de acordo com a precipitação do dia	11
Tabela 7. Classificação do grau de perigo de incêndios com base na variação de FMA e FMA ⁺	11
Tabela 8. Média e desvio-padrão anuais das variáveis climáticas (1977-2011)	15
Tabela 9. Média e desvio-padrão anuais das variáveis climáticas (1997-2011)	16
Tabela 10. Coeficiente angular da regressão linear das variáveis meteorológicas dos sete municípios estudados no período de 1977 a 2011	16
Tabela 11. Resultados do teste de Mann-Kendall das variáveis meteorológicas dos sete municípios estudados no período de 1977 a 2011	17
Tabela 12. Resultados do teste de Mann-Kendall para as variáveis meteorológicas mensais	23
Tabela 13. Total anual de focos de calor para cada município no período de 1998-2011.	27
Tabela 14. Resultados do teste de Mann-Kendall para o número e densidade de focos de calor (1998 a 2011) e para os índices de risco FMA e FMA ⁺ (1977 a 2011)	29
Tabela 15. Resultados do teste de Mann-Kendall para os índices de risco médios mensais FMA e FMA ⁺ (1977 a 2011)	30

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES

BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
CBERS - Satelite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres
CDD - Consecutive Dried Days
DEGRAD - Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira
DETER - Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real na Amazônia
DMC - Disaster Monitoring Constellation
ECHAM - European Centre Hamburg Model
ETCCDMI - Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices
ENOS - El Niño-Oscilação Sul
FMA - ndice de Monte Alegre
FMA⁺ - ndice de Monte Alegre Ajustado
GEE - Gases de Efeito Estufa
IC - Intervalo de Confiana
IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMAZON - Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
GOES - Satelite Ambiental Operacional Geoestacionário
MMQ - Método dos Mínimos Quadrados
MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NCAR - National Center Atmospheric Research
NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration
PRODES - Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satelite
SIG - Sistema de Informação Geográfica
SQD - Soma de quadrados dos desvios
SR - Sensoriamento Remoto
UC - Unidade de Conservação
TX90p - Número de dias com temperatura máxima maior que o percentil 90%
TN90p - Número de dias com temperatura mínima maior que o percentil 90%
TSM - Temperatura da superfície do mar
TMG - Tempo Médio de Greenwich

1. INTRODUÇÃO

O clima da Terra sempre está mudando com o tempo em decorrência de processos naturais, como, por exemplo, as variações da órbita terrestre, das atividades vulcânicas e alterações na radiação solar (MARENGO; BETTS, 2011). Porém, nos últimos tempos, após a Revolução Industrial, as atividades humanas, tais como a geração de energia a partir de combustíveis fósseis e o desmatamento, elevaram os níveis de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera (MARENGO, 2001), que passou a absorver mais calor, provocando mudanças no clima.

Essas mudanças climáticas podem desencadear diversos impactos ambientais, sociais e econômicos, dos quais se pode citar: o derretimento das calotas polares, com aumento do nível dos oceanos e, conseqüentemente, a perda de regiões costeiras, com prejuízos para a agricultura e o turismo; a ocorrência de eventos extremos de secas, enchentes, furacões e tempestades, trazendo riscos à vida; alterações na biodiversidade, na medida em que as espécies terão que se adaptar a novos regimes climáticos, podendo migrar para locais mais adequados ou mesmo serem extintas; alterações nas condições de saúde, com o possível aumento da incidência de casos de epidemias e pandemias (CONRADO, 2006).

Em relação aos ecossistemas florestais, as mudanças climáticas implicam em fortes conseqüências que podem ser bióticas, como aumento de pragas e de doenças, e abióticas, como mudanças na ocorrência de incêndios e na frequência e intensidade do vento (LINDNER et al., 2008). As florestas desempenham um papel importante na mitigação das mudanças climáticas, atuando como um estoque de dióxido de carbono (CO₂), mas podem se tornar fontes de GEE quando queimadas ou destruídas (DESONIE, 2008), requerendo atenção especial para os estudos de mudanças climáticas.

Neste sentido, a floresta Amazônica desempenha um papel crucial na luta contra as intervenções humanas no clima global, por atuar no balanço de carbono planetário, devido seu papel na captação do carbono proveniente da atmosfera e sua absorção pelas árvores e pelo solo (MARENGO; BETTS, 2011). Ela também tem grande importância para a estabilidade do clima regional, por impulsionar grandes quantidades de vapor d'água (H₂O) originados no Oceano Atlântico e transportá-las ao longo da América do Sul, o que assegura a regulação do regime de chuvas em lugares como a Argentina, Paraguai e o centro-sul do Brasil (CARNEIRO FILHO, 2009). Além deste papel essencial na regulação hídrica e climática, a Floresta Amazônica também tem reconhecida importância devido à sua larga extensão (4,2 milhões de km²) e enorme biodiversidade, com cerca de 45.000 espécies de plantas e vertebrados (SFB, 2010).

No entanto, várias pesquisas vêm projetando futuras alterações no clima da região Amazônica, o que constituiria uma ameaça à dinâmica de seus ecossistemas. Para prever o clima no futuro, tais pesquisas utilizam modelos climáticos de acordo com diferentes cenários de concentração de GEE na atmosfera, desde níveis altos até baixos (IPCC, 2000), sendo que os diferentes modelos desenvolvidos produzem uma gama de resultados. Entretanto, todos os modelos projetam a elevação das temperaturas e demonstram maiores aumentos em cenários de altas emissões.

Em relação à precipitação, as projeções são mais diversificadas entre os modelos que as de temperatura. O 4º Relatório de Avaliação (IPCC, 2007) do IPCC reuniu projeções de mais de vinte modelos, dos quais vários indicavam que a Amazônia se tornaria significativamente mais seca, dentre estes o modelo do Centro Nacional de Pesquisas Atmosféricas (NCAR - National Center Atmospheric Research) dos EUA e o modelo ECHAM do Instituto Max Planck, da Alemanha (FEARNSIDE, 2009).

Segundo Marengo e Betts (2011), com base em dados locais medidos em estações meteorológicas da região amazônica, há mais casos de ligeiro aumento das chuvas no norte da Amazônia a partir de 1980, enquanto uma diminuição das precipitações é uma característica mais ao sul da Amazônia.

Muitos autores defendem (NEPSTAD et al., 1999; NOBRE et al., 1991; MARENGO; BETTS, 2011) que os efeitos causados pela mudança climática são potencializados pelo desmatamento da floresta, com ambos causando o aumento do risco de incêndios florestais, podendo induzir uma “savanização” de partes da Amazônia. As novas condições climáticas projetados para o futuro, de chuva reduzida e temperaturas mais altas, aumentariam a inflamabilidade da floresta amazônica (NEPSTAD et al., 2008), conduzindo a mais incêndios florestais e maiores emissões de GEE. Por outro lado, áreas desflorestadas ou fragmentadas são mais vulneráveis a novos incêndios, o que proporcionaria um ciclo de degradação.

Dessa forma, modificações ambientais na floresta amazônica decorrentes das mudanças climáticas e do mau uso da terra, tais como os incêndios florestais e desmatamentos, podem ter grandes consequências locais, regionais e globais, com a perda dos diversos serviços ambientais que a floresta oferece. Compreender melhor o funcionamento do complexo sistema floresta-clima-usos do solo e de como ele pode mudar no futuro devido aos impactos da ação do homem é fundamental para subsidiar uma tomada de decisões na formulação de estratégias de manejo e conservação. Diante disto, este estudo visa verificar se mudanças significativas ocorreram nas variáveis climáticas (temperatura do ar e precipitação) da região Amazônica no período de 1977 a 2011, bem como avaliar a dinâmica entre o clima, o modo de variabilidade climática El Niño - Oscilação Sul (El Niño) e as modificações antrópicas do uso da terra, devido ao crescimento populacional, desmatamento e os incêndios florestais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

1.1. A Amazônia

Existem diferentes definições para a região Amazônica, envolvendo demarcações de âmbito político, como a Amazônia Legal, que tem por objetivos facilitar o planejamento pelo governo, além de demarcações naturais, definidos pelos limites de um bioma ou de uma bacia hidrográfica.

O Bioma Amazônico é constituído por um conjunto de espécies animais e vegetais que vivem em um território com condições climáticas similares, o que resulta em uma diversidade biológica própria (IBGE, 2013), sendo sua vegetação dominante a floresta ombrófila densa. Ele tem 6,9 milhões km², distribuídos por nove países: Bolívia, Brasil, Colômbia, Equador, Guiana, Guiana Francesa, Peru, Suriname e Venezuela e é a região de maior biodiversidade do planeta. No Brasil, o Bioma Amazônico tem 4.196.943 km² (IBGE, 2012) e abriga mais de 30 mil espécies de plantas, 1,8 mil de peixes continentais, 1,3 mil de aves, 311 de mamíferos e 163 de anfíbios (CARNEIRO FILHO, 2009).

A Bacia Hidrográfica Amazônica é composta por todos os afluentes e rios formadores do Rio Amazonas. Ela é constituída pela mais extensa rede hidrográfica do globo terrestre, ocupando uma área total da ordem de 6.110.000 km², desde suas nascentes nos Andes Peruanos até sua foz no oceano Atlântico. Esta bacia drena sete países da América do Sul: Brasil (63%), Peru (17%), Bolívia (11%), Colômbia (5,8%), Equador (2,2%), Venezuela (0,7%) e Guiana (0,2%). Em termos de recursos hídricos, a

Em relação às flutuações que a própria natureza impõe ao clima da região, inclui-se o modo de variabilidade climática ENOS que, de acordo com Ropelewski e Halpert (1987), Marengo (2004), Ronchail et al. (2002), está associado com anomalias negativas de precipitação no centro, norte e leste da Amazônia, juntamente com anomalias de temperatura da superfície do mar no Atlântico tropical. Esses estudos ressaltaram que algumas das maiores secas na Amazônia foram devidas a ocorrência de intensos eventos de El Niño, ao forte aquecimento das águas superficiais do Atlântico tropical norte, ou a ambos os fenômenos (NOBRE et al., 2007).

O El Niño é um fenômeno atmosférico-oceânico caracterizado por um aquecimento anormal das águas superficiais no oceano Pacífico Tropical e que pode afetar o clima regional e global, mudando os padrões de vento em nível mundial, afetando assim, os regimes de chuva em regiões tropicais e de latitudes médias (INPE, 2013a). Eventos muito intensos de El Niño foram associados às secas extremas de 1925-1926, 1982-1983 e 1997-1998 (NOBRE et al., 2009).

No ano de 2005 a região Amazônica sofreu com uma grande seca que não foi devida ao El Niño: ao invés de água mais quente do que o normal no Pacífico, havia água quente na parte sul do Atlântico Norte e água fria na parte norte do Atlântico Sul. Esse fenômeno, conhecido como Oscilação do Atlântico Tropical Norte, favoreceu a ocorrência de incêndios florestais no Acre e em partes vizinhas do Estado do Amazonas (BROWN et al., 2006).

Além dos processos naturais, o clima da região Amazônica sofre os efeitos antrópicos, sendo que, dentre os decorrentes de alterações do uso da terra dentro da região, o desmatamento é a atividade humana que afeta diretamente as maiores áreas na parte florestada da Amazônia brasileira (FEARNSIDE, 2003). O desmatamento tem impactos ambientais severos, tais como danos à biodiversidade, a exposição do solo à ação das intempéries (intensificando processos erosivos), comprometimento dos recursos hídricos, além da geração e transferência para a atmosfera de grandes quantidades de gases de efeito estufa, especialmente CO₂, e sérios danos à saúde humana. Estima-se que a destruição da vegetação nativa e as queimadas sejam responsáveis por 75% das emissões brasileiras de CO₂ para a atmosfera (IBGE, 2010).

Os efeitos do desmatamento da Amazônia sobre o clima regional têm sido avaliados através de estudos observacionais e de modelagem. Os primeiros estudos observacionais buscaram quantificar os impactos da substituição de florestas por pastagens no microclima (temperatura, umidade do ar e evapotranspiração) e compreender os processos de interação biosfera-atmosfera. A maioria desses estudos apresenta como resultado reduções anuais de 5% a 20% na precipitação, de 20% a 30% na evapotranspiração e aumento de 1°C a 4°C na temperatura do ar próximo à superfície (VAL; SANTOS, 2008).

Os incêndios florestais são uma importante causa do desmatamento e são mais propícios de ocorrer em áreas de floresta impactada, seja pelo corte da floresta ou por queimadas anteriores. As árvores da floresta amazônica não são adaptadas ao fogo e a mortalidade a partir de uma primeira queimada fornece o combustível e a aridez necessários para queimadas subsequentes muito mais desastrosas, podendo causar a completa degradação da floresta (FEARNSIDE, 2005).

1.3. Monitoramento por satélites da cobertura florestal Amazônica

A dinâmica da floresta Amazônica está constantemente ameaçada devido à pressão demográfica e econômica das atividades humanas sob a terra (NOBRE et al., 2007), através de práticas incompatíveis com a manutenção da floresta equilibrada, tais

como a utilização do fogo de maneira incontrolada para a retirada da vegetação e substituição desta por agricultura e pecuária, além de desmatamento devido a outras causas, como a extração de madeira e o avanço de infraestruturas de transporte, principalmente com abertura de estradas em rodovias federais (MARGULIS, 2003; BARRETO et al., 2005).

O monitoramento das alterações do uso da terra, como do desmatamento e dos incêndios florestais, permite a análise dos padrões e causas da perda da floresta, podendo sugerir ações políticas e locais para a sua conservação (FERRAZ et al. 2005). Porém, esse monitoramento é difícil em regiões de grande extensão e acesso dificultado, como a região Amazônica, e necessita ser realizado através de análises temporais, sendo viável através do uso de Sensoriamento Remoto (SR) (BATISTA, 2004).

O SR é uma ciência que visa a obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres (MENESES et al., 2012), através da análise de dados coletados por sensores, aparelhos que não entram em contato direto com os alvos em estudo (VETTORAZZI, 1996). Os sensores registram a energia refletida ou emitida pelos objetos da superfície terrestre e transformam esta energia em sinais elétricos, que, por sua vez, são processados e transformados em imagens. Os sensores podem ser instalados em diferentes tipos de plataformas, tais como aeronaves e satélites artificiais, sendo os últimos amplamente utilizados nos últimos tempos para diversas funções, por abrangerem um grande campo de visada da superfície terrestre e promoverem uma cobertura que se repete ao longo do tempo (EPIPHANIO, 2002).

Cada satélite possui sensores com características próprias que definem a resolução da imagem gerada, podendo esta ser dividida em quatro tipos: resolução espacial, temporal, espectral e radiométrica. A resolução espacial é a capacidade que o sensor tem de discriminar objetos em função do tamanho destes, de acordo com a dimensão do seu pixel, que corresponde a menor parcela imageada. O intervalo de tempo de aquisição dos dados sobre uma mesma área define a resolução temporal. A resolução espectral está relacionada ao número e largura das bandas espectrais, que são faixas de comprimento de onda da radiação eletromagnética, permitindo distinguir um material do outro, de acordo com as diferentes respostas em determinados comprimentos de onda. Enquanto a resolução radiométrica está relacionada à faixa de valores numéricos associados aos pixels, normalmente expressa em números digitais binários (*bits*) (FLORENZANO, 2008).

Atualmente, há uma grande variedade de satélites artificiais na órbita da Terra que carregam diversos tipos de sensores com diferentes resoluções (FRANÇA; FERREIRA, 2005) e adequados a diferentes funções. Dos satélites ambientais que são utilizados para o monitoramento da cobertura florestal da região Amazônica na atualidade, pode-se citar o LANDSAT 5, AQUA, CBERS, DMC, GOES, NOAA e TERRA (Tabela 1) (EMBRAPA, 2013).

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) desenvolve quatro programas para monitorar alterações no uso da terra devido ao desmatamento na região Amazônica a partir de imagens de satélites (SOUZA FILHO et al., 2006; INPE, 2013): PRODES, DETER, DEGRAD e QUEIMADAS. Esses programas são complementares, pois enfatizam diferentes estágios de desmatamento e envolvem diferentes tipos de fontes de dados de acordo com os sensores utilizados para obtenção das informações.

Tabela 1. Características dos sensores utilizados atualmente no monitoramento da cobertura florestal da região Amazônica (Fonte: EMBRAPA Monitoramento por Satélite, 2013)

Satélite	Sensor	Resolução Espacial (m)	Resolução Temporal	Número de bandas	Altitude (km)	Faixa de visada (km)
LANDSAT 5	TM	30	16 dias	7	705	185
AQUA	MODIS	1000	1 a 2 dias	36	850	3000
TERRA	MODIS	1000	1 a 2 dias	36	705	2330
CBERS	CCD	20	26 dias	5	778	113
	WFI	260	5 dias	2	778	890
DMC	SLIM-6	32	< 1 dia	3	sd	600
NOAA	AVHRR	1100	12 h	5	840	2250
GOES	GOES I-M	4000	30 min	5	35800	sd

sd = sem dados

O PRODES (Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite) quantifica o desflorestamento por meio do cálculo das taxas anuais de corte raso, ou seja, o estágio final do processo de desmatamento, em que o padrão observado representa a retirada completa da vegetação original. Para isso utiliza imagens dos sensores TM (satélite LANDSAT 5), CCD (satélites CBERS) e DMC - Disaster Monitoring Constellation (satélite da DMC International Imaging) que cobrem a Amazônia com baixa frequência temporal e têm resolução espacial de 30, 20 e 32 metros, respectivamente.

Já o DETER (Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real) e o DEGRAD (Sistema de Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira) identificam e mapeiam áreas desflorestadas de forma mais abrangente, considerando não só as áreas de corte raso, como também áreas com estágios intermediários de desmatamento. Porém, assim como o PRODES, o DEGRAD utiliza imagens LANDSAT 5 e CBERS, com boa resolução espacial e baixa resolução temporal, enquanto que o DETER utiliza imagens dos sensores MODIS (satélite TERRA) e WFI (satélite CBERS), que cobrem a Amazônia com alta frequência temporal, mas com resolução espacial limitada. Dessa forma, o DEGRAD visa mapear anualmente e em detalhe áreas de floresta degradada, enquanto o DETER tem como objetivo principal a fiscalização, por disponibilizar imagens com alta frequência de observação (INPE, 2008).

No que diz respeito ao sistema operacional de monitoramento de queimadas e incêndios florestais por satélite, o INPE utiliza dados de focos de calor através de imagens termais (infravermelho termal) ($3\mu\text{m}$ a $5\mu\text{m}$) dos satélites NOAA, GOES, TERRA e AQUA, fornecendo indicadores de focos de incêndios e queimadas (INPE, 2012).

Atualmente, o SR, aliado aos sistemas de informações geográficas, tornou-se necessário e essencial para a identificação de alterações no uso e cobertura do solo, uma vez que possibilita a obtenção de dados precisos e confiáveis. A ampliação de conhecimento sobre o funcionamento da região amazônica somente pode ser alcançada em decorrência de avanços na ciência e tecnologia de sensoriamento remoto (NOVO, 2010).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

O Amazonas é o maior estado brasileiro, com uma área de 1.559.159,148 km² e uma população de 3.483.985 habitantes (IBGE, 2012). É o estado com a maior área de floresta conservada no Brasil, pois 98% de sua área ainda mantém sua cobertura de floresta tropical (FAS, 2011). Possui cerca de 50% da sua área protegida por Unidades de Conservação (UC), tais como, reservas extrativistas, parques nacionais, estaduais e federais, e também terras indígenas (AMAZONAS, 2009). Dos nove estados amazônicos brasileiros, o Amazonas, depois do Amapá, Roraima, Tocantins e Acre, é o estado que possui a menor taxa de desmatamento acumulado (de 1988 a 2012) (INPE, 2013b).

O Amazonas possui 62 municípios, dos quais sete foram considerados neste trabalho (Figura 2), cujas características são resumidas na Tabela 2. A capital Manaus é a cidade mais populosa da Região Norte e o sétimo município mais populoso do Brasil, cuja população cresceu 2,51% ao ano no período 2000-2010 (IBGE, 2011).

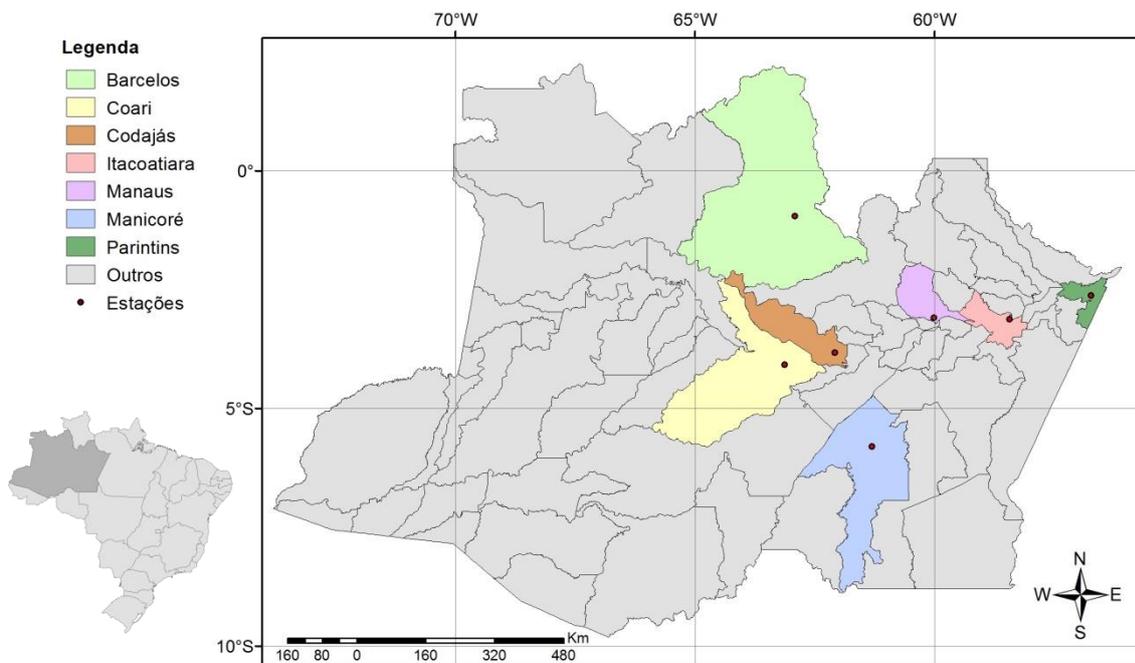


Figura 2. Localização geográfica das estações meteorológicas convencionais e dos sete municípios estudados no estado do Amazonas.

Tabela 2. Características dos municípios estudados (Fonte: IBGE, 2011)

Municípios	População 2010 (hab)	Área (km ²)	Densidade demográfica (hab/km ²)
Barcelos	25.718	122.476,12	0,2
Coari	75.965	57.921,91	1,3
Codajás	23.206	18.711,55	1,2
Itacoatiara	86.839	8.892,04	9,8
Manaus	1.802.014	11.401,09	158,1
Manicoré	47.017	48.282,66	1,0
Parintins	102.033	5.952,39	17,1

De acordo com a classificação climática de Köppen, a região Amazônica apresenta apenas o clima do tipo "A", porém três subclimas podem ser identificados na região: o equatorial chuvoso ("Af"), o tropical de monção ("Am") e o tropical seco e úmido ("Aw"), sendo que o tropical de monção abrange a maior parte da região e todos os municípios estudados no presente trabalho. Porém, segundo Cerqueira (2006), as fronteiras entre um subclima e outro não são muito bem definidas e podem variar de ano a ano, sendo o subclima "Am" uma transição entre o "Af", predominantemente equatorial, e o "Aw", mais próximo do clima tropical.

Na escala sazonal, a temperatura média do ar não apresenta muita variação, o que se deve aos altos valores de radiação solar incidente ao longo do ano. Os valores da temperatura média do ar estão entre 24° a 26°C com amplitude anual de 1° a 2°C. Já a precipitação apresenta sazonalidade marcante, com uma estação chuvosa compreendida entre novembro e março, e a estação seca entre maio e setembro. Os meses de abril e outubro são meses de transição entre um regime e outro. Na porção norte da bacia há uma reversão dessa fase, e a estação chuvosa ocorre de maio a outubro e a estação mais seca, de dezembro a fevereiro. A precipitação média da região Amazônica é de aproximadamente 2300 mm.ano⁻¹ (FIGUEROA; NOBRE, 1990).

2.2. Série de dados meteorológicos

Utilizaram-se dados de uma série histórica de 35 anos (1977 a 2011) de sete Estações Meteorológicas Convencionais (EMC) do Estado do Amazonas (Tabela 3), obtidos através do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do INMET (INMET, 2012). As variáveis meteorológicas obtidas foram: precipitação (mm), temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), umidade relativa do ar (%) e velocidade do vento (m/s). As variáveis umidade relativa do ar e velocidade do vento possuíam três medições diárias, correspondentes aos horários de 0, 12 e 18h (TMG).

Tabela 3. Coordenadas geográficas das estações meteorológicas convencionais utilizadas

EMC	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)
Barcelos	-0,96	-62,91	40,00
Coari	-4,08	-63,13	46,00
Codajás	-3,83	-62,08	48,00
Itacoatiara	-3,13	-58,43	40,00
Manaus	-3,10	-60,01	61,25
Manicoré	-5,81	-61,30	50,00
Parintins	-2,63	-56,73	29,00

Realizou-se o pré-processamento dos dados climáticos, organizando-os em uma série de dados diários com um valor representativo para cada dia, através da média aritmética dos valores correspondentes aos horários de 0, 12 e 18h (TMG) para as variáveis umidade relativa do ar e velocidade do vento. Efetuou-se a correção de dados inconsistentes de temperatura, cujos valores máximos eram inferiores aos mínimos, procedendo-se, para tanto, com a estimação pela média aritmética da variável correspondente ao mesmo dia em outras três estações vizinhas.

Calculou-se a amplitude de temperatura diária a partir da diferença entre a temperatura máxima e a mínima. A partir dos dados diários, foram obtidos os valores mensais e anuais das variáveis, considerando a precipitação acumulada e a média das

temperaturas (máxima, mínima e amplitude), velocidade do vento e umidade relativa do ar.

Dois índices foram calculados para a detecção de mudanças climáticas, um decorrente da precipitação e o outro da temperatura do ar (máxima e mínima), conforme a metodologia do “Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices” (ETCCDMI) (PETERSON et al., 2001). A partir da precipitação se calculou o número máximo de dias consecutivos secos (CDD - Consecutive Dried Days), que possuem a precipitação diária menor que 1 mm. Em relação à temperatura do ar, foi definido um índice relativo ao número de dias que superava a temperatura correspondente à média anual do percentil 90%, ou seja, número de dias com temperaturas extremas. Este índice foi calculado para a temperatura máxima (TX90p) e também para a mínima (TN90p).

Também foram utilizados dados de anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nas regiões de Niño 1+2 e Niño 3 obtidos na página do NOAA (www.cdc.noaa.gov/ClimateIndices/), no período de 1977 a 2011.

2.3. Dados populacionais, de desmatamento e focos de calor

Para avaliar a dinâmica entre as mudanças do clima e os tipos de uso do solo, foram utilizados dados populacionais, de desmatamento e de focos de calor. Os dados demográficos foram referentes à população total dos municípios estudados em sete anos: 1970, 1980, 1991, 1996, 2000, 2007 e 2010, e foram obtidos do banco de dados do IBGE (2012).

Os dados de desmatamento foram obtidos do programa PRODES (INPE, 2013b), referentes à taxa anual de desmatamento (km^2/ano) do estado do Amazonas (série de 1977 a 2011), à área total de desmatamento (km^2) por município (série de 2000 a 2011) e ao incremento anual do desmatamento (km^2) nos sete municípios em estudo (série de 2001 a 2011).

Para o estudo de ocorrência e risco de incêndios utilizaram-se dados de focos de calor obtidos do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) - (<http://pirandira.cptec.inpe.br/queimadas/>) - (CPTEC, 2013). Atualmente, o CPTEC utiliza vários satélites meteorológicos (Órbita Polar e Geoestacionária) para compor sua rede de observação na América do Sul. A série utilizada corresponde ao período de 1998 a 2011 (série de 14 anos). Foram utilizados os dados provindos dos satélites NOAA-12 e AQUA-M-T, considerados pelo INPE os satélites de referência para a análise de tendências em séries temporais de focos de calor (INPE, 2012). A série de dados continha as coordenadas dos focos de calor detectados e o índice de risco de fogo correspondente. Para comparar a frequência de focos entre os municípios, que apresentam áreas distintas, calculou-se a densidade de focos de calor (totais de focos/ km^2), dividindo o total de focos pela área do município. Os dados anuais de focos de calor também foram processados na forma de pontos no programa de SIG (Sistema de Informação Geográfica) Arcgis versão 10, para geração de mapas.

O cálculo do risco de fogo (RF), segundo a metodologia do INPE (SETZER; SISMANOGLU, 2012), leva em consideração o risco de fogo básico (Rb), baseado no número de dias seguidos sem chuva (PSE) e no tipo da vegetação; o fator da temperatura do ar máxima (FT) e o fator da umidade relativa mínima do ar (FU), conforme as equações descritas abaixo:

$$RF = Rb * FT * FU \quad (01)$$

em que,

$$Rb_{n=1,7} = \frac{0,9 * [1 + \sin(A_{n=1,7} * PSE)]}{2} \quad (02)$$

$$FT = Tmax * 0,02 + 0,4 \quad (03)$$

$$FU = UR * -0,006 + 1,3 \quad (04)$$

em que o parâmetro A varia com a vegetação de acordo com a Tabela 4, PSE = Dias de secura, Tmax = temperatura do ar máxima, UR = umidade relativa do ar.

Tabela 4. Valores assumidos pela constante A para as 7 classes de vegetação para o RF

n	Vegetação	A
1	Ombrófila densa, alagados	1,50
2	Florestas decíduas e sazonais	1,72
3	Florestas contato, campinarana	2,00
4	Savana arbórea, caatinga fechada	2,40
5	Savana, caatinga aberta	3,00
6	Agricultura e diversos	4,00
7	Pastagens, gramíneas	6,00

Também se considera a presença de fogo na região de interesse, pois quando se verifica que em locais com RF mínimo ou baixo ocorreu algum foco de calor detectado pelos satélites nos últimos 3 dias, e neste período não houve precipitação, altera-se o valor do RF para alto. O RF é classificado segundo as categorias na Tabela 5, sendo que o risco mínimo indica ocorrência de foco em áreas onde as condições meteorológicas não são favoráveis a ocorrência deste foco e o risco crítico representa áreas que, segundo as condições meteorológicas, são propícias a ocorrerem focos.

Tabela 5. Classificação do grau de risco de fogo segundo a metodologia do INPE

Valor de RF	Grau de Risco
< 0,15	Mínimo
0,15 a 0,40	Baixo
0,40 a 0,70	Médio
0,70 a 0,95	Alto
> 0,95	Crítico

Além do índice de risco de incêndio desenvolvido pelo INPE, também foram calculados o índice de Monte Alegre (FMA, Eq. 05) e o índice de Monte Alegre Ajustado (FMA⁺, Eq. 06) a partir das variáveis climáticas. Ambos os índices são corrigidos pela variação no regime de precipitação pluvial (número de dias sem chuvas), para expressar um índice acumulativo (Tabela 6). A classificação do risco segundo os valores de FMA e FMA⁺ encontra-se na Tabela 7. Para as duas metodologias se recomenda utilizar a umidade relativa do ar e a velocidade do vento medidas às 13:00h. A utilização da umidade relativa das 13:00h se justifica pela proximidade deste momento com o instante de maior déficit de saturação de vapor d'água na massa de ar,

visto que, existe uma relação inversa e exponencial da pressão de vapor d'água com a temperatura do ar (SOUZA et al., 2012). Neste trabalho, utilizou-se a umidade do ar e velocidade do vento medidos às 12:00h, por ser o valor mais próximo do recomendado e pela inexistência deste.

$$FMA = \sum_{n=1}^n \frac{100}{H} \quad (05)$$

$$FMA^+ = \sum_{n=1}^n \frac{100}{H} e^{0,04V} \quad (06)$$

em que, H é a umidade relativa do ar (%); V é a velocidade do vento (m.s⁻¹); n é o número de dias do intervalo (dependente do comportamento das precipitações pluviais).

Tabela 6. Modificação no cálculo da FMA e FMA⁺ de acordo com a precipitação do dia

Chuva diária (mm)	Modificação no Cálculo
≤ 2,4	Nenhuma
2,5 a 4,9	Abater 30% na FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia
5,0 a 9,9	Abater 60% na FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia
10,0 a 12,9	Abater 80% na FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia
> 12,9	Interromper o cálculo (FMA=0) recomeçando a somatória no dia seguinte ou quando a chuva cessar

Tabela 7. Classificação do grau de perigo de incêndios com base na variação de FMA e FMA⁺

Valor de FMA	Valor de FMA⁺	Grau de Perigo
≤ 1,0	≤ 3,0	Nulo
1,1 a 3,0	3,1 a 8,0	Pequeno
3,1 a 8,0	8,1 a 14,0	Médio
8,1 a 20,0	14,1 a 24,0	Alto
> 20,0	> 24,0	Muito alto

2.4. Análise Estatística

Para descrever a variabilidade dos dados e identificar possíveis tendências ou mudanças abruptas nas séries temporais utilizadas neste estudo foram confeccionadas figuras com variáveis em função do tempo. Para avaliar as tendências de mudanças climáticas no tempo se utilizou o método de regressão linear simples e o teste não-paramétrico de Mann-Kendall.

A regressão linear simples tem o objetivo de verificar a existência de uma relação funcional entre uma variável dependente Y com uma variável independente X. O modelo estatístico de regressão é dado por:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + e_i \quad (07)$$

em que:

Y_i = valor observado para a variável dependente Y no i-ésimo nível da variável independente X;

β_0 = coeficiente linear de regressão. Representa o intercepto da reta com o eixo Y.

β_1 = coeficiente angular de regressão. Representa a variação de Y em função da variação de uma unidade da variável X;

X_i = no i-ésimo nível da variável independente X ($i = 1, 2, \dots, n$);

e_i = erro que está associado à distância entre o valor observado Y_i e o correspondente ponto na curva do modelo proposto, para o mesmo nível i de X.

Os coeficientes de regressão β_0 e β_1 são estimados pelo método dos mínimos quadrados (MMQ), que visa obter uma reta de regressão que minimize a soma de quadrados dos desvios (SQD) dos dados reais, através das fórmulas abaixo:

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum x_i y_i - \frac{\sum x_i \sum y_i}{n}}{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}} \quad (08)$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X} \quad (09)$$

A análise de regressão linear pode ser utilizada para indicar mudanças climáticas por meio do teste de significância do coeficiente angular de regressão, considerando como variável dependente uma variável climática e o tempo como variável independente. O teste de significância utilizado foi o teste paramétrico t, que avalia se o coeficiente de regressão β_1 é significativamente diferente de zero, o que indica a presença de uma tendência linear (LONGOBARDI; VILLANI, 2010). O sinal do coeficiente de regressão irá indicar se a tendência é positiva ou negativa. A estatística de teste do coeficiente de regressão é dada por:

$$t = \frac{\hat{\beta}}{s / \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} \quad (10)$$

em que, $\hat{\beta}$ = é o valor estimado do coeficiente de regressão; s = é o desvio padrão estimado dos erros; t = distribuição t de Student com $n-2$ graus de liberdade.

A hipótese nula de que não existe tendência ($H_0: \beta_1 = 0$) é rejeitada quando o valor absoluto de t é maior do que o valor absoluto tabelado $t_{\alpha/2}$. Considerou-se a um nível de significância α de 5%. Também foram calculados os coeficientes de determinação (r^2) para saber o grau de ajuste da regressão, conforme a fórmula abaixo:

$$r^2 = \frac{SQReg}{SQT} \quad (11)$$

em que,

SQReg = Soma dos quadrados da regressão

SQT = Soma dos quadrados total

O teste de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975) possui a vantagem de ser não-paramétrico e, portanto, não necessita da suposição de uma distribuição específica dos dados. Este teste considera que, na hipótese de estabilidade de uma série temporal, a sucessão de valores ocorre de forma independente, e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma (série aleatória simples). Considerando uma série temporal de Y_i de n termos ($1 \leq i \leq n$); a estatística de teste é dada por:

$$S = \sum_{j=i+1}^n \text{ sinal}(Y_j - Y_i) \quad (12)$$

em que, $\text{ sinal}(x) = 1$ para $x > 0$; $\text{ sinal}(x) = 0$ para $x = 0$; $\text{ sinal}(x) = -1$ para $x < 0$.

Para séries com grande número de termos (n), sob a hipótese nula (H_0) de ausência de tendência, S apresenta uma distribuição normal com média zero e variância:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (13)$$

Testando a significância estatística de S para a hipótese nula usando um teste bilateral, esta pode ser rejeitada para grandes valores da estatística Z , que é dada por:

$$Z = \begin{cases} S - 1/\text{Var}(S) & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ S + 1/\text{Var}(S) & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (14)$$

Com base na análise da estatística Z é tomada a decisão de rejeitar ou não H_0 , ou seja, rejeitar a hipótese de estabilidade dos dados ou rejeitar a hipótese alternativa de existência de tendência nos dados. O sinal da estatística Z indica se a tendência é crescente ($Z > 0$) ou decrescente ($Z < 0$). Em um teste bilateral para tendência, H_1 deve ser rejeitado se $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$, em que o valor de $Z_{\alpha/2}$ é obtido da tabela normal padrão. Considerou-se a um nível de significância α de 5%.

As variáveis climáticas consideradas para a realização do teste de Mann-Kendall foram as séries temporais anuais e mensais de precipitação total, temperatura máxima e mínima, amplitude de temperatura, número de dias com temperaturas máxima e mínima extremas e número de dias de seca consecutivos. O teste de Mann-Kendall também foi utilizado para avaliar a ocorrência de tendências nos dados anuais de focos de calor e índice de risco de incêndios FMA e FMA⁺. Para realizar este teste estatístico se utilizou o programa MULTMK/PARTMK (LIBISELLER, 2004).

Foi analisada a relação entre as variáveis climáticas, as variáveis de uso do solo e as anomalias de TSM, através do coeficiente de correlação r de Pearson e teste t para avaliar sua significância (Eq. 10). Também se verificou a existência de correlação entre a frequência de focos de calor e a área desflorestada dos municípios e do estado do Amazonas.

Para descrever os dados de focos de calor efetuou-se o cálculo da frequência absoluta e relativa da ocorrência de focos mensais e anuais, bem como da frequência dos riscos mais altos de incêndios.

Com o objetivo de estudar o efeito conjunto dos fatores climáticos e sobre as variáveis de uso do solo se utilizaram técnicas multivariadas (análise fatorial e análise

de agrupamento). A Análise Fatorial (AF) possui como princípio que cada variável pode ser decomposta em duas partes: uma parte comum e uma parte única. A primeira é a parte da sua variação partilhada com outras variáveis, enquanto a segunda é específica da sua própria variação. Esta técnica é aplicada para facilitar a interpretação dos dados observados por meio da análise da estrutura das inter-relações entre as variáveis, de tal modo que essas possam ser descritas convenientemente por um grupo de categorias básicas, chamados fatores, em número menor que as variáveis originais (CORRAR et al., 2009). Para a extração dos fatores foi utilizada a Análise de Componentes Principais (ACP), que permite transformar um conjunto de variáveis iniciais, correlacionadas entre si, num outro conjunto de variáveis não correlacionadas, que são os componentes principais, resultantes das combinações lineares do conjunto inicial (MANLY, 2008). Para selecionar o número de fatores utilizou-se o critério de kaiser, que sugere que devem ser extraídos apenas os fatores com valor de *eigenvalue* acima de um.

Em algumas situações, a AF realizada apresenta alguma variável que é representada por dois fatores. Nestes casos, para ter-se uma melhor visualização das variáveis que melhor representem cada fator, é realizada uma rotação nos eixos, pois a AF busca colocar os fatores em uma posição mais simples, que serão associadas só às variáveis relacionadas distintamente a um fator. Existem várias rotações, sendo que, quando os eixos são mantidos a 90°, são chamadas rotações ortogonais. A rotação varimax busca minimizar o número de variáveis com altas cargas num fator, ou seja, maximiza a variância da carga e é, também, a mais utilizada. Conforme Corrar et al. (2009), a rotação da matriz não afeta a inércia (comunalidades) das variáveis nem a percentagem de variações explicadas pelos fatores.

Neste estudo, a AF foi realizada com o objetivo de encontrar a estrutura das relações entre as variáveis climáticas e as variáveis relacionadas ao uso do solo, bem como para agrupar os municípios estudados segundo estas variáveis.

A Análise de Agrupamento (AA) busca agrupar elementos de dados com base na similaridade entre eles em relação a um conjunto de características especificadas (conjunto de variáveis). Os grupos devem exibir elevada homogeneidade interna (dentro dos agrupamentos) e elevada heterogeneidade externa (entre agrupamentos) (HAIR et al., 2005).

Tendo em vista a dificuldade de se examinar todas as combinações de grupos possíveis em um grande volume de dados, desenvolveram-se diversas técnicas capazes de auxiliar na formação dos agrupamentos. Devido à existência de vários critérios, para conceituar esses grupos, o pesquisador deve optar por aquele que for mais adequado à análise em estudo (HAIR et al., 2005).

Neste trabalho, a medida de similaridade utilizada entre os elementos a serem agrupados, foi a distância euclidiana quadrática (Eq. 15). A distância euclidiana quadrática tem a vantagem de não ser necessário calcular a raiz quadrada, como na distância euclidiana simples, o que acelera o tempo de computação, além de ser a distância recomendada para o método de agrupamento de Ward (HAIR et al., 2005).

$$d_{xy} = \sum_{i=1}^p (X_i - Y_i)^2 \quad (15)$$

Para agrupar as observações mais similares, optou-se pelo procedimento hierárquico aglomerativo, no qual cada elemento inicia-se representando um grupo, e a cada passo, um grupo ou elemento é ligado a outro de acordo com sua similaridade, até formar um grupo único com todos os elementos. Os resultados finais de um

procedimento hierárquico podem ser representados por gráficos denominados dendrograma ou gráfico em árvore. Os dendrogramas apresentam os elementos e os respectivos pontos de fusão ou divisão dos grupos formados em cada estágio.

Existe uma variedade de métodos aglomerativos, que são caracterizados de acordo com o critério utilizado para definir as distâncias entre grupos. Optou-se pelo método de Ward, cuja distância entre dois grupos é definida pela soma dos quadrados entre dois grupos feita sobre todas as variáveis (WARD, 1963). No método de ligação de Ward, a função distância é dada por:

$$d_{(UV)W} = \frac{((N_W + N_U)d_{UW} + (N_W + N_V)d_{VW} - N_W d_{UV})}{N_W + N_U + N_V} \quad (16)$$

em que, N_U e N_W são os números de elementos no grupo U e V , respectivamente; d_{UW} e d_{VW} são as distâncias entre os elementos U_W e V_W , respectivamente.

Através do dendrograma e do conhecimento prévio sobre a estrutura dos dados, deve-se determinar uma distância de corte para definir quais serão os grupos formados. Essa decisão deve ser feita pelo pesquisador, de acordo com o objetivo da análise e o número de grupos desejados. Neste estudo, decidiu-se considerar como medida de homogeneidade a distância mediana do dendrograma.

Foram realizadas duas análises de agrupamento: uma para agrupar os anos estudados de acordo com as variáveis temperatura máxima e mínima, amplitude térmica, precipitação e número de dias consecutivos de seca, e outra para agrupar os anos estudados de acordo com a frequência anual de focos de calor das diferentes estações. Para a execução das análises multivariadas se utilizou o software Statgraphics Centurion XVI.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização climática e análise de tendências

As médias e os desvios-padrão dos valores anuais de precipitação acumulada, temperatura máxima e mínima e amplitude térmica das sete estações meteorológicas para todo o período analisado (1977-2011) podem ser vistos na Tabela 8, enquanto que, na Tabela 9, esses valores são apresentados para os últimos quinze anos da série temporal (1997-2011).

Tabela 8. Média e desvio-padrão ($\bar{x} \pm s$) anuais das variáveis climáticas (1977-2011)

Estação meteorológica	Precipitação Total (mm)	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Amplitude Térmica (°C)
Barcelos	2304,31 ± 305,37	32,26 ± 0,58	22,70 ± 0,80	9,55 ± 0,83
Coari	2219,42 ± 462,37	32,25 ± 0,66	21,72 ± 2,22	10,53 ± 1,84
Codajás	2834,48 ± 714,26	31,92 ± 0,84	22,21 ± 0,94	9,66 ± 1,17
Itacoatiara	2376,08 ± 430,05	31,96 ± 0,81	22,85 ± 1,13	9,10 ± 0,90
Manaus	2210,60 ± 433,29	31,81 ± 0,62	23,44 ± 0,49	8,36 ± 0,37
Manicoré	2339,40 ± 649,87	32,47 ± 0,65	22,52 ± 0,55	9,93 ± 0,65
Parintins	2364,40 ± 581,03	32,30 ± 0,61	24,45 ± 0,45	7,85 ± 0,49

Tabela 9. Média e desvio-padrão ($\bar{x} \pm s$) anuais das variáveis climáticas (1997-2011)

Estação meteorológica	Precipitação Total (mm)	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Amplitude Térmica (°C)
Barcelos	2355,03 ± 255,26	32,36 ± 0,61	23,32 ± 0,36	9,04 ± 0,79
Coari	2304,67 ± 318,78	32,78 ± 0,56	23,76 ± 0,58	9,02 ± 0,47
Codajás	2969,59 ± 276,22	32,36 ± 0,83	22,85 ± 0,65	9,50 ± 1,03
Itacoatiara	2462,96 ± 435,72	32,60 ± 0,56	23,60 ± 0,67	8,99 ± 0,73
Manaus	2324,55 ± 352,76	32,37 ± 0,41	23,90 ± 0,38	8,60 ± 0,34
Manicoré	2420,31 ± 407,72	32,68 ± 0,52	22,73 ± 0,30	9,90 ± 0,63
Parintins	2437,70 ± 633,08	32,66 ± 0,55	24,70 ± 0,39	7,96 ± 0,46

As temperaturas médias tomadas a partir dos últimos 15 anos do período estudado, sobretudo das temperaturas mínimas, são mais elevadas em comparação à média dos 35 anos, o que indica uma tendência de aumento das temperaturas na região de estudo. A regressão linear (Tabela 10) e o teste de Mann-Kendall (Tabela 11) confirmaram esta tendência (a um nível de significância de 5%) para todas as estações, com exceção da temperatura máxima para Barcelos, que não mostrou nenhuma tendência significativa. Na Figura 3, observa-se essa tendência geral de aumento das temperaturas ao longo dos anos, a partir das temperaturas médias entre as sete estações estudadas. Outros autores também observaram tendências positivas nas temperaturas diurnas e noturnas do ar em algumas estações meteorológicas da Amazônia (MARENGO et al., 2009). Delgado et al. (2012) verificaram tendência de aumento da temperatura mínima do ar e da pressão de saturação do vapor d'água no período 1970-2010, para dados de três localidades do Estado do Acre: Cruzeiro do Sul, Tarauacá e Rio Branco.

Tabela 10. Coeficiente angular da regressão linear das variáveis meteorológicas dos sete municípios estudados no período de 1977 a 2011

Variáveis Meteorológicas	Barcelos	Coari	Codajás	Itacoatiara	Manaus	Manicoré	Parintins
Temperatura máxima	0,01	0,05*	0,04*	0,03*	0,04*	0,03*	0,03*
Temperatura mínima	0,06*	0,16*	0,06*	0,03*	0,04*	0,03*	0,02*
Amplitude térmica	-0,05*	-0,12*	-0,02	0,00	0,01	0,00	0,02
TX90p	1,10	1,89*	2,51*	2,89*	2,58*	1,45*	1,30*
TN90p	5,43*	10,24*	4,50*	4,14*	2,97*	2,06*	1,82*
Precipitação	8,43	11,64	25,94	15,18	17,28*	15,88	9,11
CDD	0,02	0,32	0,14	0,34*	0,21	0,38*	0,35*

*p-valor < 0,05 TX90p = dias com temperatura máxima extrema, TN90p = dias com temperatura mínima extrema, CDD = máximo de dias consecutivos secos

Tabela 11. Resultados do teste de Mann-Kendall das variáveis meteorológicas dos sete municípios estudados no período de 1977 a 2011

Variáveis Meteorológicas	Barcelos	Coari	Codajás	Itacoatiara	Manaus	Manicoré	Parintins
Temperatura máxima	1,26	3,87*	2,71*	4,17*	4,62*	3,60*	3,57*
Temperatura mínima	4,64*	4,77*	4,25*	3,72*	3,82*	2,73*	2,34*
Amplitude térmica	-3,64*	-3,44*	-0,46	-1,07	1,17	0,62	2,11*
TX90p	1,80	3,55*	3,08*	4,40*	4,78*	3,39*	3,02*
TN90p	4,09*	4,67*	4,33*	4,02*	3,87*	4,00*	3,10*
Precipitação	1,33	0,80	0,60	1,91	2,37*	1,18	1,56
CDD	-0,16	0,92	0,09	1,56	0,88	2,11*	2,28*

*p-valor < 0,05 TX90p = dias com temperatura máxima extrema, TN90p = dias com temperatura mínima extrema, CDD = máximo de dias consecutivos secos

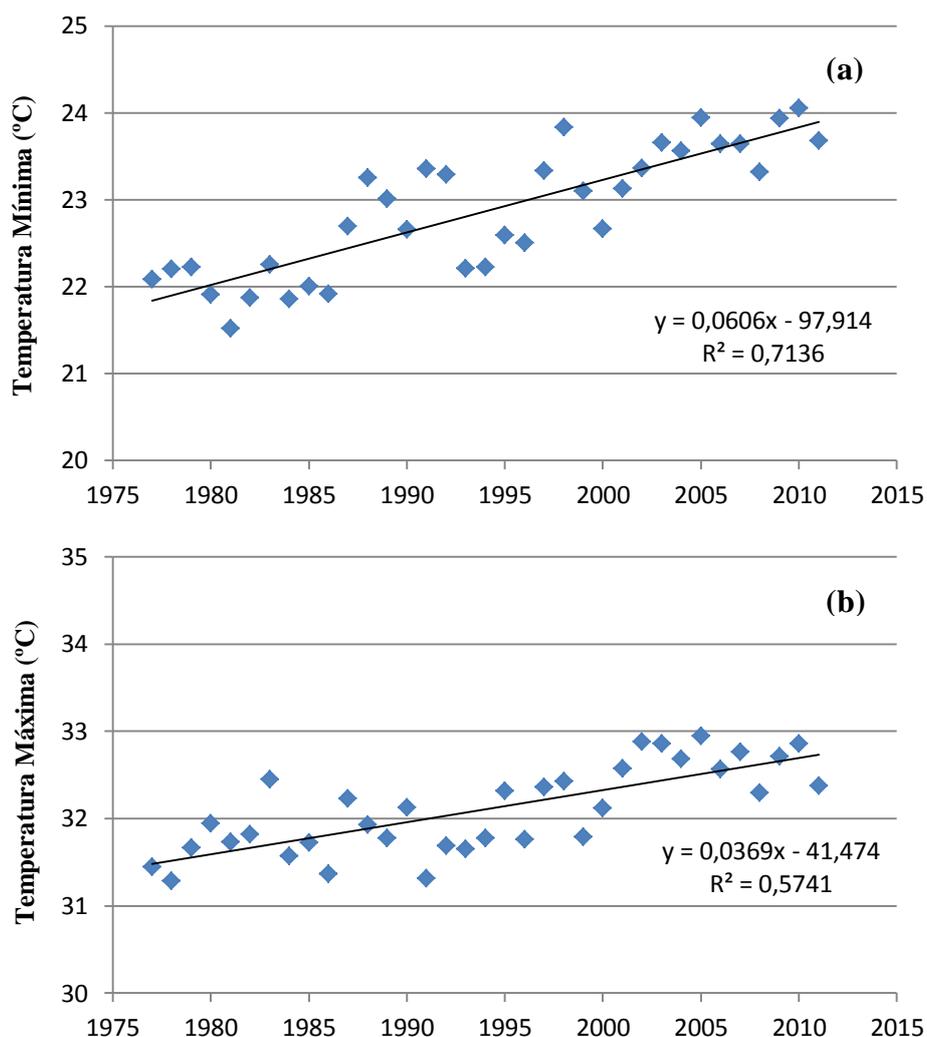


Figura 3. Média anual da temperatura do ar (°C) mínima (a) e máxima (b) das sete estações meteorológicas convencionais no período de 1977-2011.

O número de dias com temperaturas extremas (temperaturas acima do percentil a 90% médio) aumentou significativamente a partir do ano 1995, tanto para as temperaturas máximas do ar como para as mínimas, para a maioria das regiões estudadas (exceto a temperatura máxima em Barcelos) (Tabelas 10 e 11). Este padrão, além de confirmar a tendência de aumento das temperaturas, também evidencia um aumento no número de dias (temperatura máxima) e de noites (temperatura mínima) quentes. A Figura 4 mostra o aumento na frequência de dias com temperaturas máximas e mínimas extremas para Manaus.

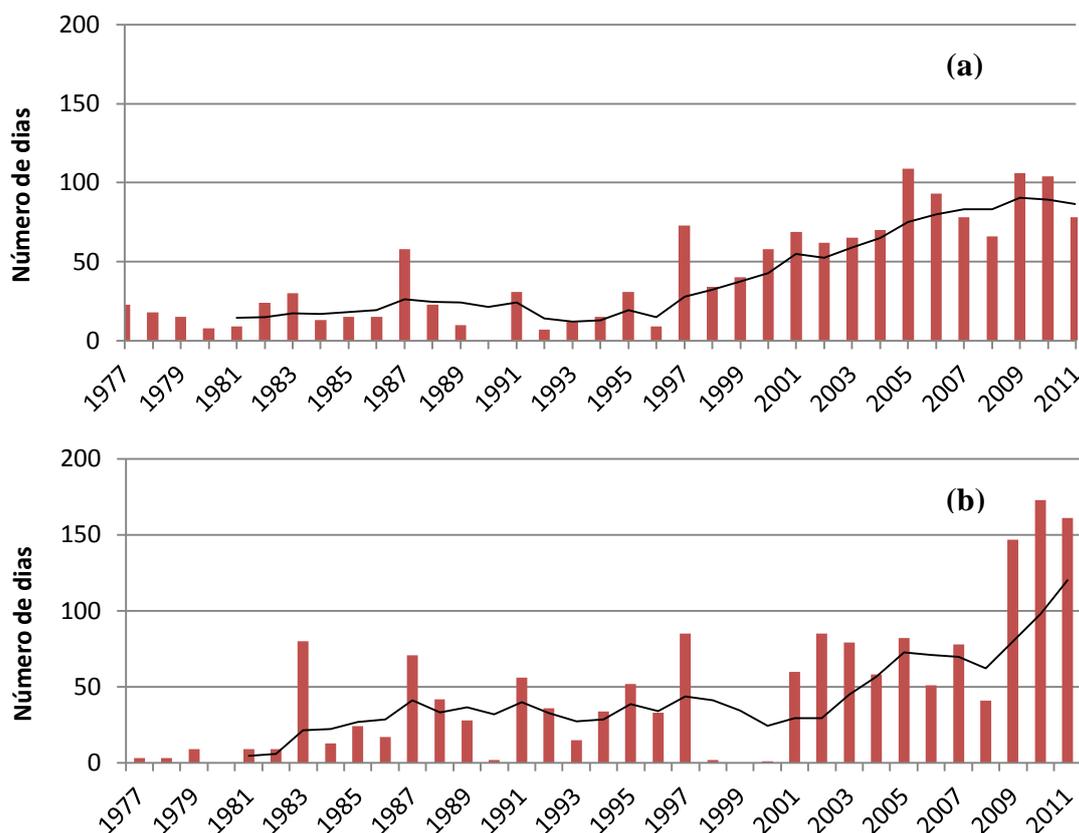


Figura 4. Número de dias com temperaturas extremas para a estação de Manaus: temperatura máxima em (a) e mínima em (b) no período 1977-2011. Linha de tendência: média móvel de cinco anos

Quanto às médias mensais de temperatura, o teste de Mann-Kendall revelou um aumento significativo para todos os meses em pelo menos uma estação meteorológica (Tabela 12). Em Itacoatiara, todos os meses apresentaram tendência de aumento da temperatura máxima e mínima. Em Coari, somente os meses janeiro e fevereiro não apresentaram tendência na temperatura máxima média, sendo que todos os demais apresentaram tendência de aumento significativo na série. Para a temperatura mínima, Coari, Codajás e Manicoré também apresentaram tendência de aumento da temperatura média para todos os meses. Como a temperatura do ar não apresenta alta variação sazonal na região Amazônica era esperado o aumento generalizado das temperaturas nos diferentes meses, sem um padrão sazonal para o aquecimento. No entanto, meses da estação seca e de transição apresentaram tendência de aumento da temperatura para todas as regiões de estudo: setembro e outubro, no caso da temperatura máxima e setembro, outubro, novembro e dezembro para a temperatura mínima, comprovando que os períodos secos também estão se tornando mais quentes.

Em relação à amplitude de temperatura média anual observou-se uma tendência decrescente em Barcelos e Coari segundo a regressão linear (Tabela 10) e o teste de Mann-Kendall (Tabela 11). Esta tendência se deve ao aumento na temperatura mínima e na frequência de noites quentes (TN90p) ao longo do tempo nestas áreas, em maior intensidade que a temperatura máxima e a frequência de dias quentes (TX90p) (no caso de Barcelos, somente a temperatura mínima e o TN90p apresentaram tendência de aumento). Quanto às médias mensais, Coari apresentou tendência significativa de diminuição da amplitude térmica para todos os meses e Barcelos, para a maioria dos meses, exceto setembro, novembro e dezembro.

Parintins apresentou uma tendência de aumento da amplitude térmica média anual, embora significativamente apenas pelo teste de Mann-Kendall. Neste caso, a regressão linear não se ajustou bem aos dados, porque nos últimos três anos, a amplitude da temperatura nesta estação diminuiu, embora tenha havido uma tendência geral de aumento. Nesta estação, a temperatura máxima médias apresentou tendência mais intensa de aumento do que a temperatura mínima média.

Os valores médios da precipitação anual no período 1997-2011 das estações foram maiores em comparação aos valores médios para todo o período estudado (Tabelas 8 e 9), indicando um aumento na precipitação total dos últimos anos. Porém, a regressão linear (Tabela 10) e o teste de Mann-Kendall (Tabela 11) só apresentaram uma tendência significativa de aumento (ao nível de 5% de significância) da precipitação anual para Manaus (Figura 5). Cutrim et al. (2000) também encontraram uma tendência de aumento dos totais anuais da precipitação de Manaus, no período 1901-1996. Os mesmos autores ressaltaram que, grosso modo, espera-se que a precipitação aumente com o aumento da temperatura global, porém diminua com o desmatamento.

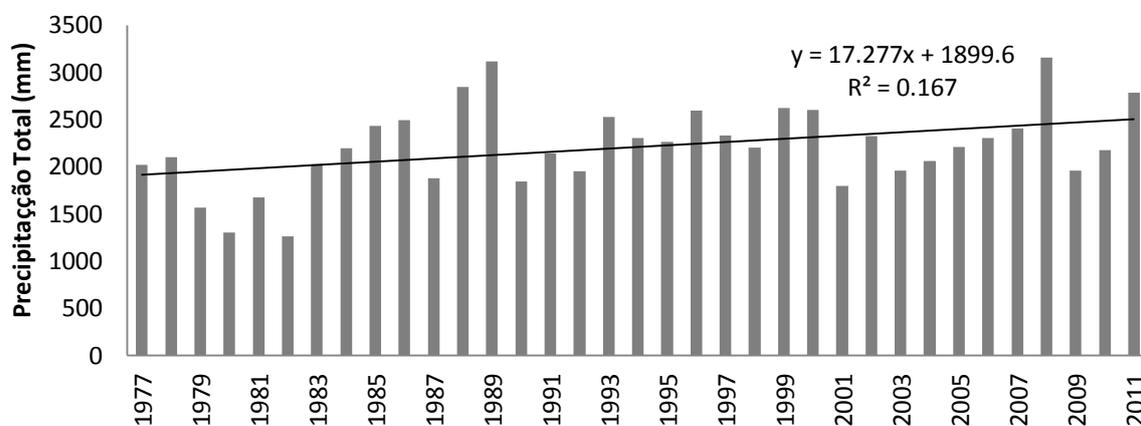
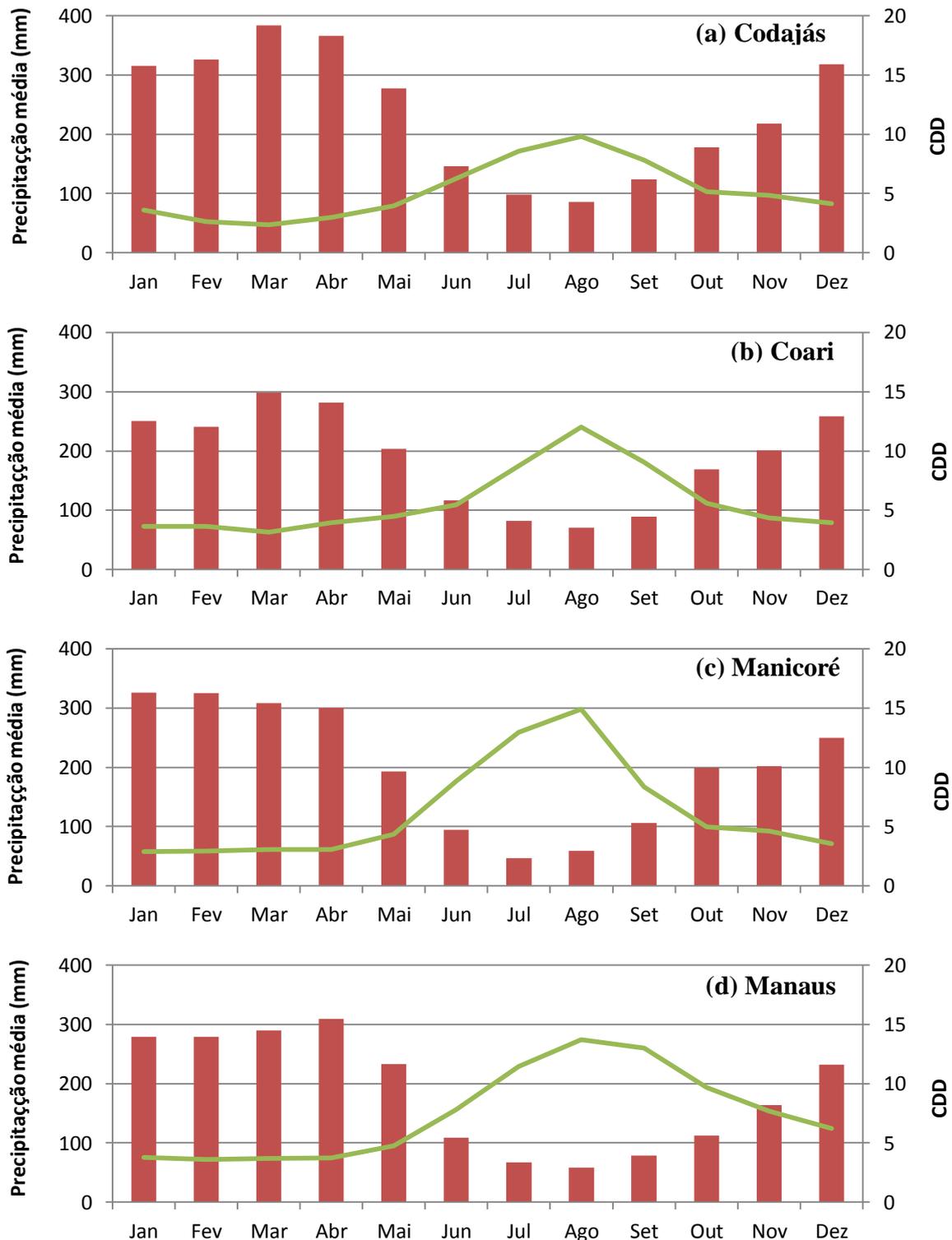


Figura 5. Série temporal da precipitação pluviométrica anual (mm) para Manaus (1977-2011)

Apesar de Manicoré e Parintins não terem apresentado tendência significativa de modificação da precipitação, estes municípios apresentaram uma tendência ascendente no número máximo de dias consecutivos de seca por ano, segundo a regressão linear e o teste de Mann-Kendall (Tabelas 10 e 11). A regressão linear também evidenciou uma tendência de aumento do CDD anual em Itacoatiara, porém esta não foi significativa pelo teste de Mann-Kendall. Isso provavelmente ocorreu devido ao número de dias secos em Itacoatiara ter aumentado somente em três anos (2001, 2005 e 2009), sendo que os demais apresentaram CDD aproximadamente constante. Neste caso, assume-se que o teste de Mann-Kendall possibilita um melhor ajuste da variabilidade dos dados em relação à regressão linear.

A precipitação e o número máximo de dias secos apresentam elevada sazonalidade, definindo os períodos de chuva e de seca, que variam entre as diferentes regiões de estudo. Codajás, Coari e Manicoré possuem período de seca entre junho e setembro (Figuras 6a, 6b e 6c). Manaus possui período de seca entre junho e novembro (Figura 6d), Itacoatiara, entre julho e dezembro (Figura 6e) e Parintins, de agosto a dezembro (Figura 6f). Barcelos possui um período seco que se estende de agosto a fevereiro, porém com menor número de dias consecutivos de seca em relação às demais regiões (Figura 6g).



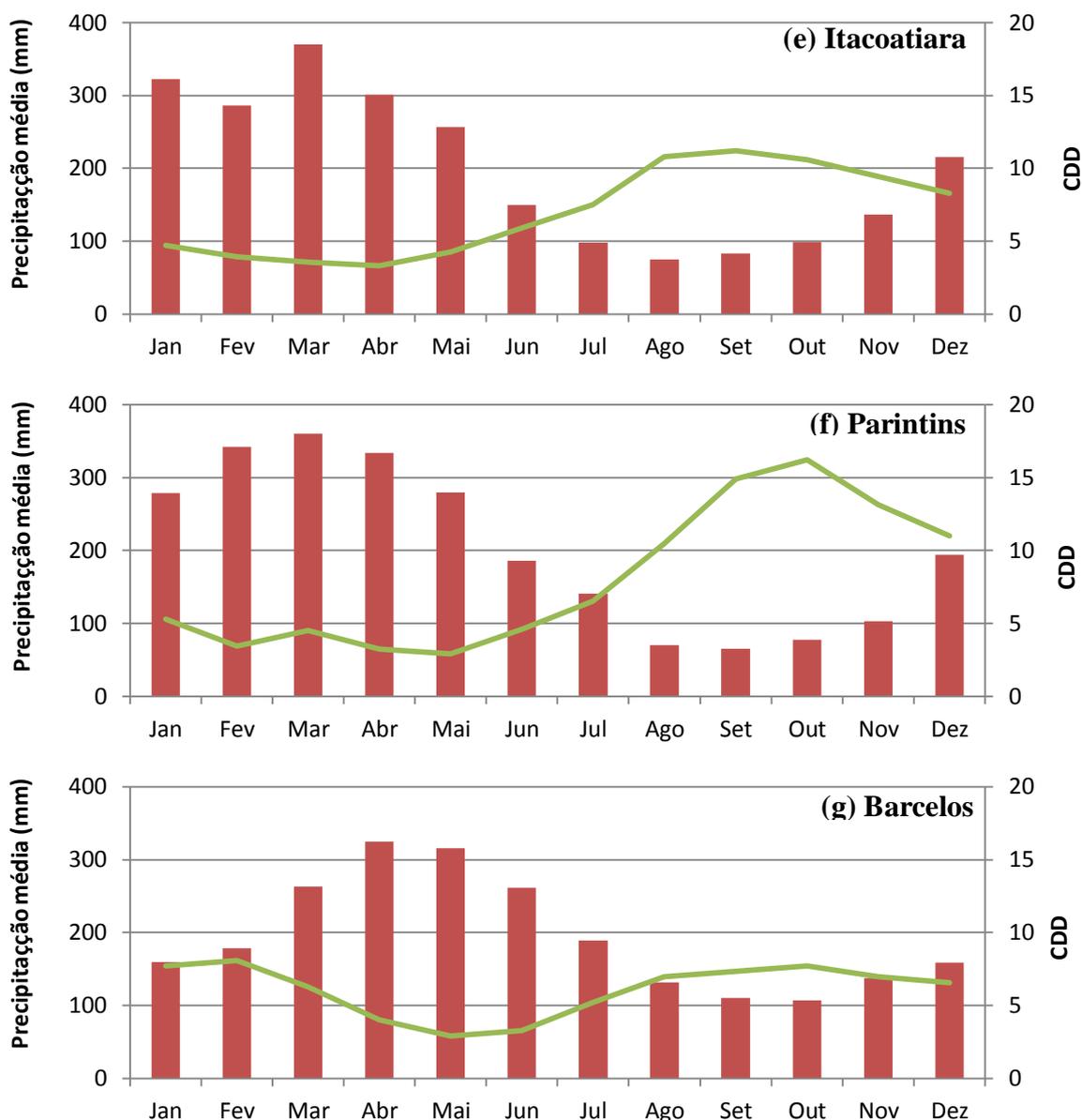
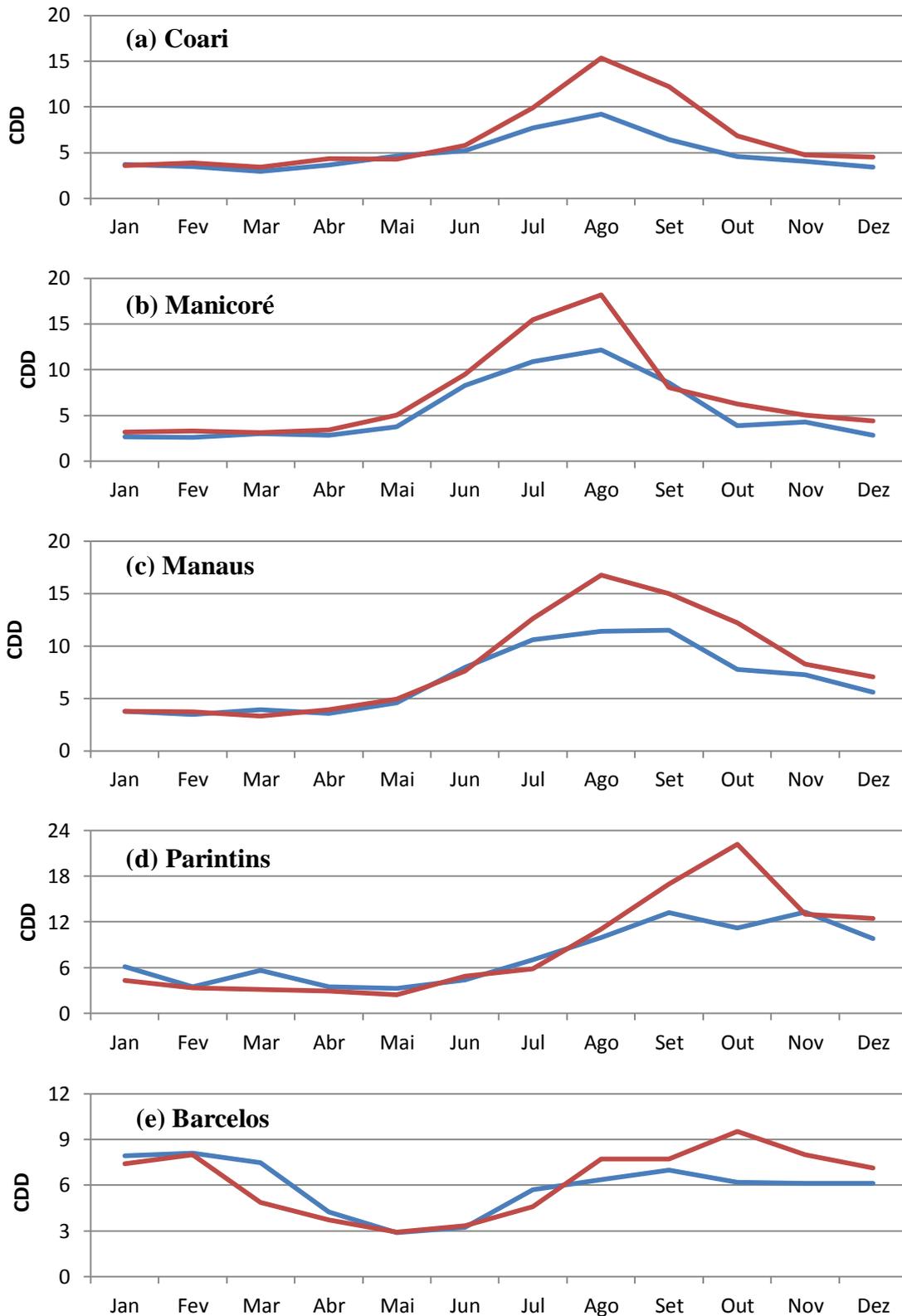


Figura 6. Períodos secos e chuvosos dos sete municípios. Colunas representam a precipitação média mensal (mm) e linhas, o máximo número de dias secos consecutivos (1977-2011).

Na maioria dos municípios estudados, exceto Manicoré, existe uma tendência dos períodos úmidos tornarem-se mais úmidos, ou pelo aumento da precipitação média em pelo menos um mês deste período (janeiro em Parintins, fevereiro em Manaus, março em Coari e Itacoatiara, abril em Manaus, Coari, Itacoatiara e Parintins, maio em Parintins e dezembro em Codajás) ou pela diminuição do número máximo de dias consecutivos secos por mês (janeiro em Parintins e março em Barcelos) (Tabela 12).

Também se verificou uma tendência do período seco tornar-se mais seco, como mostra a Figura 7, onde em Coari, Manicoré, Manaus, Parintins e Barcelos a média do CDD mensal entre 1997 e 2011 foi maior que a média dos anos 1977 a 1996. O teste de Mann-Kendall comprova esta tendência de secas mais intensas, através da diminuição da precipitação em Manaus no mês de setembro e aumento do CDD em ao menos um mês do período seco (agosto em Manaus e Manicoré e outubro em Barcelos, Manaus e Parintins) na maioria das regiões, com exceção de Itacoatiara, que não apresentou

tendência mensal no CDD (Tabela 12). Além disso, o aumento do CDD nos meses de transição entre o período seco e úmido em Coari (outubro), Codajás (abril, maio e outubro), Manaus (dezembro) e Manicoré (outubro e dezembro) (Tabela 12) indicam uma extensão dos períodos secos, que adquirem maior duração.



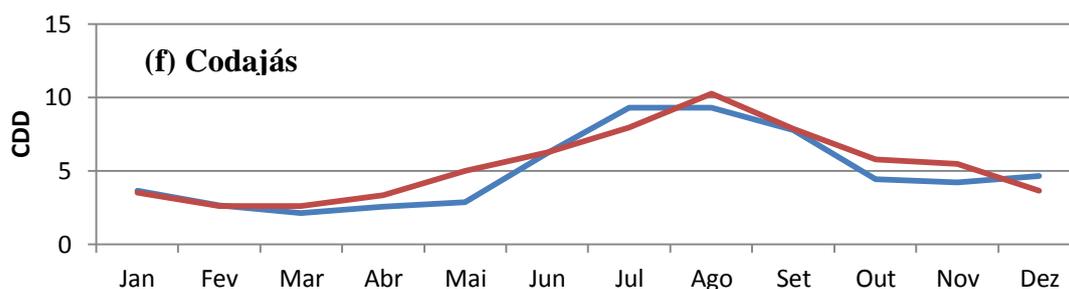


Figura 7. Média mensal do número máximo de dias consecutivos secos para o período 1977-1996 (linha azul) e para 1997-2011 (linha vermelha)

Tabela 12. Resultados do teste de Mann-Kendall para as variáveis meteorológicas mensais

Mês	Var	Barcelos	Coari	Codajás	Itacoatiara	Manaus	Manicoré	Parintins
Jan	Pcpt	1,04	0,56	1,35	0,26	1,36	0,29	2,09*
	Tmax	0,97	1,38	2,49*	2,76*	2,06*	2,77*	2,23*
	Tmin	3,76*	4,35*	3,48*	2,52*	1,85	3,62*	0,10
	Amp	-2,60*	-4,33*	0,14	-0,62	1,09	0,69	2,23*
	CDD	-0,78	-0,83	0,44	-0,85	-0,06	0,96	-2,03*
Fev	Pcpt	1,01	1,72	1,50	1,35	2,20*	1,15	0,42
	Tmax	-0,29	1,52	2,01*	3,21*	2,23*	2,02*	1,89*
	Tmin	3,52*	4,35*	2,26*	2,86*	2,40*	3,22*	0,90
	Amp	-2,69*	-4,15*	-0,17	-1,52	0,20	-0,16	1,50
	CDD	0,26	0,13	0,00	0,93	0,41	1,67	0,22
Mar	Pcpt	0,19	2,16*	-0,08	2,55*	0,67	1,20	1,27
	Tmax	-0,44	3,63*	2,10*	2,14*	1,31	2,25*	1,87
	Tmin	3,78	4,00*	3,24*	2,36*	1,79	3,60*	0,12
	Amp	-3,25	-3,56*	-0,09	-0,97	0,65	-0,27	2,45*
	CDD	-2,72	0,36	1,68	-1,18	-0,13	0,66	-1,9
Abr	Pcpt	1,20	2,09*	1,39	3,18*	2,46*	1,12	3,52*
	Tmax	-0,53	2,87*	1,66	2,87*	1,63	0,75	0,80
	Tmin	4,48*	4,20*	2,87*	2,87*	2,74*	2,72*	-0,12
	Amp	-3,76*	-3,32*	-0,29	-1,65	-0,34	-0,40	0,90
	CDD	-0,08	1,07	2,04*	-1,53	0,89	0,86	-0,94
Mai	Pcpt	0,97	0,65	0,99	1,51	0,50	0,68	2,46*
	Tmax	-0,82	2,94*	1,82	1,84*	1,19	1,50	1,78
	Tmin	4,30*	3,91*	2,96*	3,48*	2,85*	2,25*	1,17
	Amp	-3,72*	-3,05*	-0,18	-2,44*	-1,43	-0,19	1,17
	CDD	0,58	-0,03	2,72*	-1,46	1,21	0,89	-1,08
Jun	Pcpt	-0,23	0,41	1,80	0,42	1,90	0,53	-0,25
	Tmax	0,98	2,65*	2,06*	2,94*	2,94*	1,79	2,69*
	Tmin	4,77*	4,67*	2,28*	2,84*	2,74*	2,10*	1,77
	Amp	-3,24*	-2,94*	0,65	-1,12	0,47	0,25	1,09
	CDD	-0,43	-0,21	-0,47	-0,16	-0,75	0,37	-0,79

Continuação da tabela 12

	Pcpt	1,23	-0,60	1,13	-0,52	-0,34	1,90	-0,32
	Tmax	1,09	3,01*	3,04*	4,02*	3,85*	2,10*	2,34*
Jul	Tmin	3,92*	3,94*	3,19*	3,87*	3,25*	0,80	2,34*
	Amp	-2,36*	-1,90*	-0,15	-0,77	0,60	1,64	0,88
	CDD	-1,47	0,93	-0,13	1,80	0,33	1,81	-0,46
	Pcpt	-0,45	-1,53	0,23	-0,29	0,87	1,43	-0,89
	Tmax	1,74	3,60*	2,83*	3,86*	4,22*	3,21*	3,83*
Ago	Tmin	4,61*	4,59*	3,55*	3,41*	3,65*	1,62	3,47*
	Amp	-2,17*	-2,53*	0,25	-1,01	1,42	1,17	-0,06
	CDD	1,52	0,57	0,85	1,34	2,14*	2,44*	-0,05
	Pcpt	-0,63	0,59	1,31	-1,07	-2,23*	-0,52	-1,14
	Tmax	2,37*	4,31*	2,43*	4,37*	4,34*	3,00*	2,58*
Set	Tmin	4,50*	4,44*	4,23*	3,41*	3,71*	2,40*	2,63*
	Amp	-1,8	-2,69*	-0,17	-0,83	1,88	2,23*	1,17
	CDD	0,64	0,56	0,38	0,03	0,96	1,39	1,52
	Pcpt	-0,48	-1,73	-0,26	-0,65	-1,42	-0,23	-0,26
	Tmax	2,27*	4,93*	2,83*	3,55*	4,02*	3,16*	2,84*
Out	Tmin	3,64*	3,92*	3,51*	3,38*	3,87*	2,35*	3,02*
	Amp	-2,16	-2,76*	1,16	-0,08	2,03*	1,21	0,84
	CDD	2,19*	2,09*	2,27*	1,81	2,37*	2,50*	2,70*
	Pcpt	0,54	0,14	1,28	-0,16	1,46	1,85	-0,26
	Tmax	1,11	2,87*	1,79	2,23*	2,34*	1,77	2,84*
Nov	Tmin	3,76*	4,23*	3,99*	3,20*	2,65*	2,77*	3,02*
	Amp	-1,89	-3,07*	-0,55	-1,26	1,16	-0,27	0,84
	CDD	0,64	-0,28	0,83	-0,49	0,26	1,35	-1,01
	Pcpt	-0,19	0,59	2,25*	0,52	1,60	1,23	-0,05
	Tmax	0,53	3,00*	1,59	2,55*	4,37*	1,04	2,43*
Dez	Tmin	3,26*	4,80*	3,92*	3,10*	2,36*	3,13*	2,02*
	Amp	-1,69	-4,18*	-0,05	-1,18	2,12*	-0,48	1,68
	CDD	0,51	1,68	-0,02	1,10	2,80*	2,25*	-0,44

*p-valor < 0,05 (Var= variáveis, Pcpt= precipitação, Tmax= temperatura máxima, Tmin= temperatura mínima, Amp= amplitude térmica, CDD = número máximo de dias consecutivos secos por mês)

De acordo com a análise de agrupamento entre as variáveis climáticas precipitação, temperatura máxima e mínima, amplitude de temperatura e dias consecutivos secos, os anos foram agrupados em três grupos homogêneos: o grupo I, compreendendo os anos entre 1977 a 1979 mais os anos 1986, 1993, 1994 e 1996; o grupo II, constituído pelos anos de 1980 a 1982; e o grupo III, com o período 1997 - 2011 (Figura 8). Por esta classificação, se confirma que os últimos anos, a partir de 1997, formam um grupo homogêneo quanto as variáveis climáticas, sendo estas não similares às variáveis climáticas do início da série temporal, comprovando a modificação do clima na área de estudo.

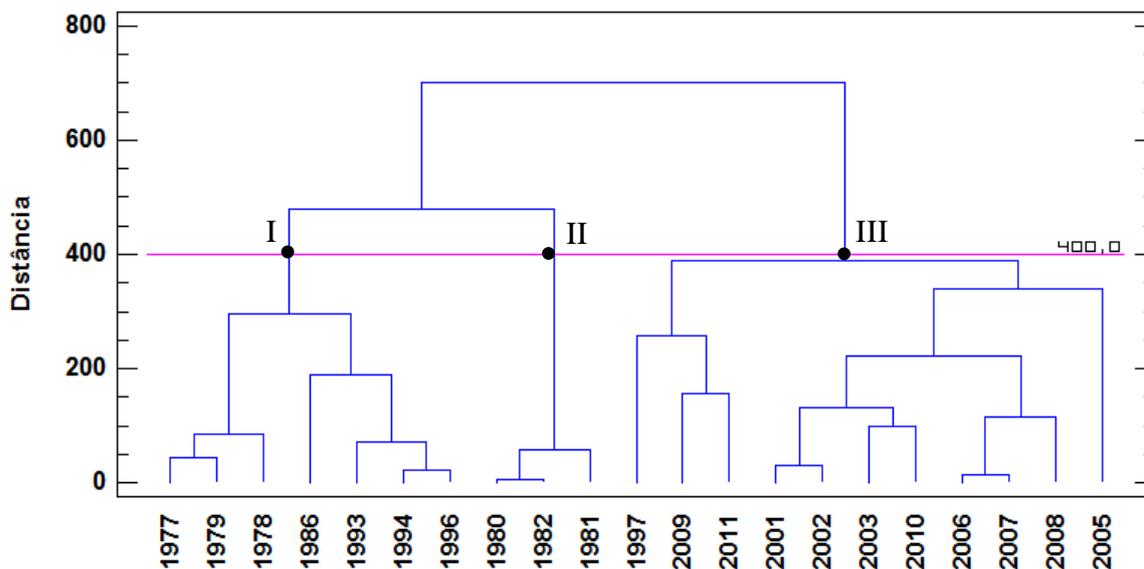


Figura 8. Dendrograma a partir das variáveis climáticas precipitação, temperatura máxima e mínima, amplitude de temperatura e dias consecutivos secos

Referente ao grupo II, observa-se que este está mais próximo do grupo I, sendo, portanto, as variáveis climáticas deste período mais similares ao padrão apresentado pelas variáveis do grupo I. O ano de 1982 pode ser considerado anômalo devido à ocorrência de um forte episódio de El Niño (Figura 9), através do aumento considerável da TSM no Oceano Pacífico entre 1982 e 1983.

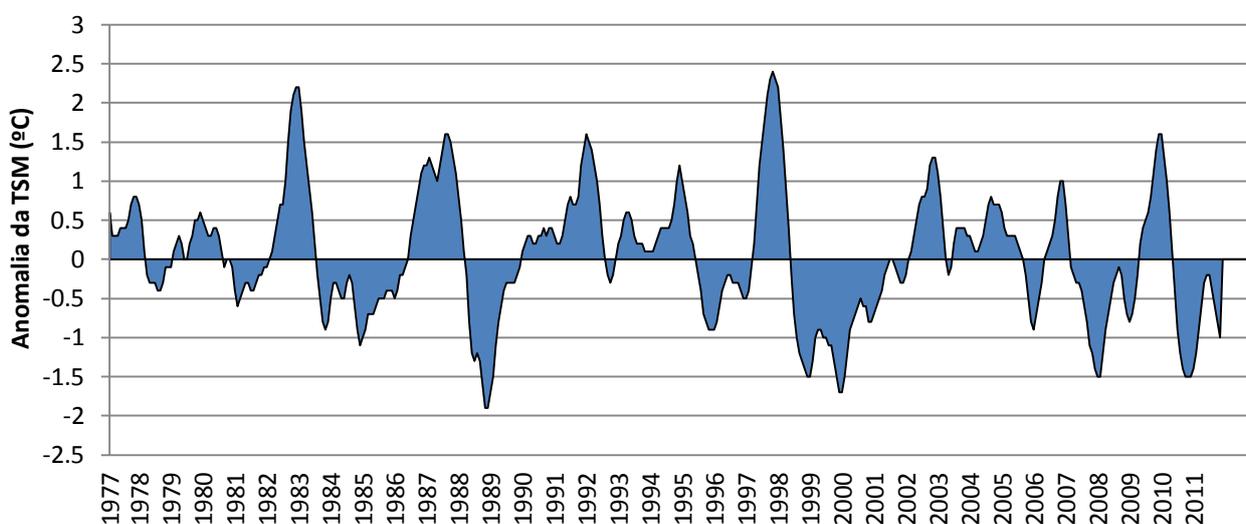


Figura 9. Série temporal da anomalia de temperatura da superfície do mar (1977 - 2011)

Além de 1982 e 1983, os anos que apresentaram forte episódio de El Niño, de acordo com a Figura 9 (anomalia de TSM acima de 1,5) foram: 1987, 1992, 1997 e 2009-2010. Enquanto os anos com forte episódios de La Niña (anomalia de TSM abaixo de -1,5) foram: 1988-1989, 1998, 1999, 2000, 2008 e 2010.

3.2. Caracterização e tendência das atividades antrópicas: crescimento populacional, desmatamento e incêndios florestais

De todos os municípios estudados, Manaus é o que possui maior população, em todos os anos avaliados como também é o município que obteve o maior crescimento populacional, com uma população em 2010 seis vezes maior que a população na década de 1970 (Figura 10).

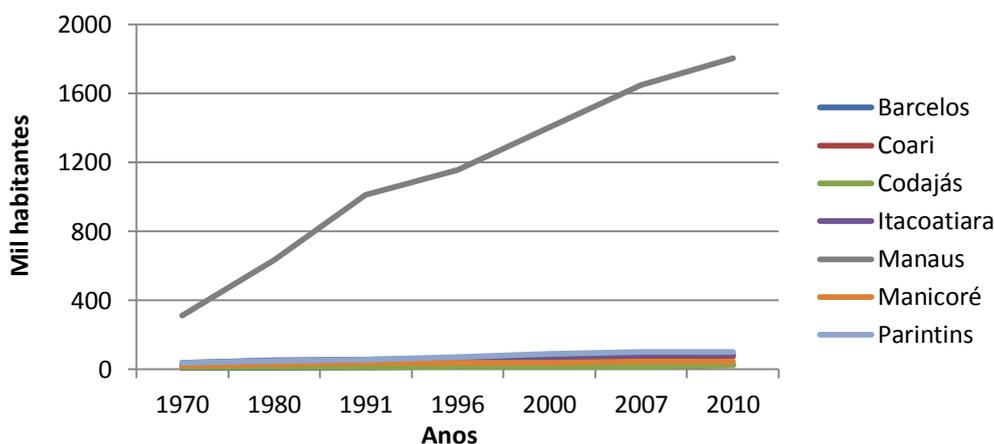


Figura 10. Evolução da população dos sete municípios estudados

No entanto, todos os municípios apresentaram crescimento populacional, em maior ou menor proporção (Figura 11). Parintins, Coari e Barcelos tiveram sua população triplicada de 1970 a 2010 e Itacoatiara, Manicoré e Codajás tiveram sua população duplicada no mesmo período. Segundo o IBGE (2011) a componente migratória contribuiu significativamente para o crescimento diferencial da Região Norte no período 2000-2010, que apresentou uma das maiores taxas de crescimento populacional do país neste período. As migrações são resultado das políticas nacionais de colonização e povoamento, da expansão de atividades produtivas, do deslocamento da população para regiões mais pacíficas, em decorrência da violência, e do desenvolvimento de infraestrutura de transportes (PNUMA; OTCA, 2008).

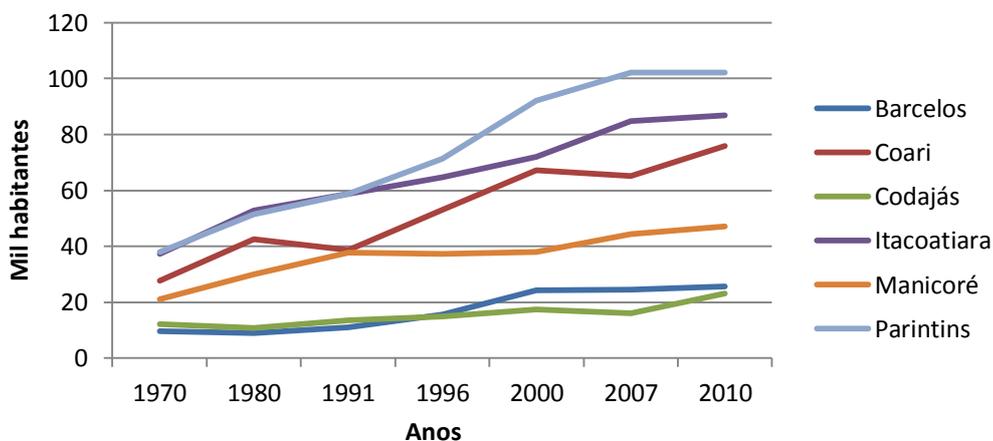


Figura 11. Evolução da população dos municípios estudados, exceto Manaus

No que diz respeito aos incêndios florestais, foi detectado um total de 10101 focos no período de 1998 a 2011, com maior concentração destes entre 2003 e 2006, seguido do período entre 2009-2010 (Tabela 13 e Figura 12), com 70% dos focos

contidos nestes seis anos. Manicoré foi a estação que apresentou o maior número de focos de calor, com 58,12% do total de focos detectados, fato que pode ser explicado pela sua localização no sul do estado, região próxima ao "Arco do Desflorestamento", onde os incêndios estão associados ao alto grau de desmatamento (MALHI et al., 2008; IBGE, 2010).

Porém, analisando os focos relativamente à área dos municípios estudados, Parintins e Itacoatiara, juntamente com Manicoré, se destacaram em densidade de focos, com 31,72%, 27,88% e 25,94%, respectivamente, do total de focos por área (km²) nos 14 anos, uma vez que Manicoré possui uma área cerca de oito vezes maior que a de Parintins e cinco vezes maior que de Itacoatiara. No entanto, a maior contribuição em focos de calor dos municípios Parintins e Itacoatiara foi em 2009, razão pela qual este ano apresentou maior densidade de focos (Figura 12).

Tabela 13. Total anual de focos de calor para cada município no período de 1998-2011.

Ano	Barcelos	Coari	Codajás	Itacoatiara	Manaus	Manicoré	Parintins	Total
1998	1	16		5		56	5	83
1999	16	36		35	2	43	5	137
2000	19	13	5	6	6	44	24	117
2001	55	3	1	48	18	30	41	196
2002	20	37	3	165	92	357	113	787
2003	249	60	11	61	83	568	25	1057
2004	288	52	2	71	43	595	77	1128
2005	5	124	5	104	26	897	50	1211
2006	8	40	1	83	24	850	110	1116
2007	16	22		8	6	578	9	639
2008	2	19	3	5	5	351	15	400
2009	22	134	39	350	100	362	224	1231
2010	55	182	36	114	36	798	90	1311
2011	29	70	19	107	24	342	97	688
Total	785	808	125	1162	465	5871	885	10101

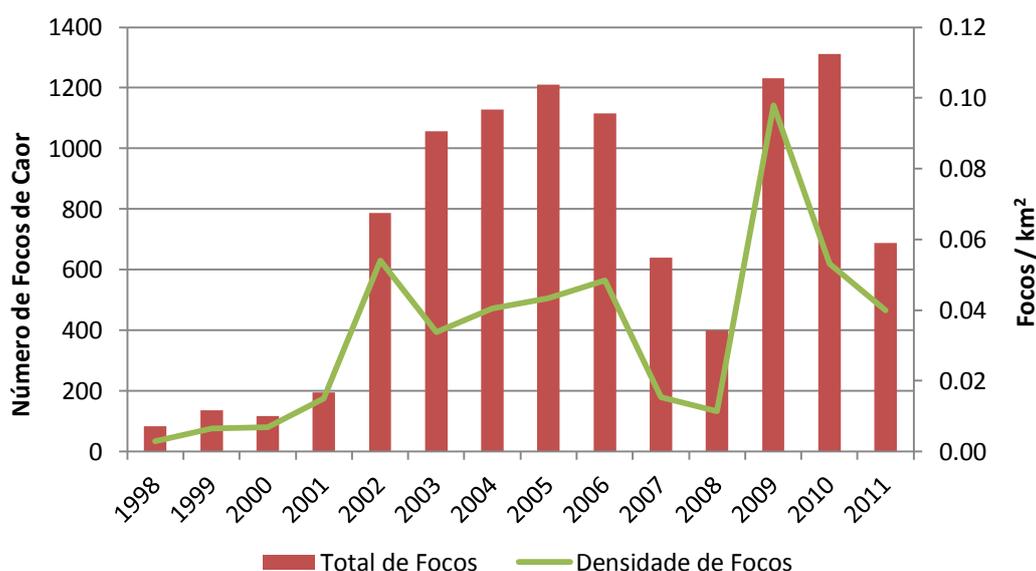


Figura 12. Total anual de focos de calor e densidade de focos (total de focos/área) para todas as estações (1998-2011)

A análise de agrupamento para os focos de calor (Figura 13) classifica os dados em três grupos: i) anos de 2000, 2001 e 2008 (grupo I), ii) os anos de 2002 a 2006 e 2010-2011 (grupo II) e, por fim o ano de 2009 (grupo III). O grupo I contém os anos em que foi observada a menor quantidade de focos de calor, provavelmente devido à ocorrência de fortes episódios de La Niña em 2000 e 2008, de acordo com os dados de anomalia de TSM (Figura 9), o que provocou aumento nos padrões de chuva na região Norte, diminuindo os riscos de incêndios florestais. No grupo II e III, os focos ocorreram em grande quantidade, sendo que no grupo II, os anos 2003 e 2004 formam um subgrupo, provavelmente devido às altas taxas de desmatamento ocorridas nestes anos (Figura 15), o que pode ter favorecido a ocorrência de incêndios florestais nas áreas recém-desmatadas, pela modificação do microclima local. No grupo III, constituído pelos focos de 2009, provavelmente ocorreu interferência do episódio de El Niño, que ao contrário da La Niña, aumenta a chance de ocorrência de incêndios florestais. El Niños severos já resultaram em incêndios florestais no passado, como em 1926 (STERNBERG, 1968) e em 1982/1983 (MALINGREAU et al., 1985). Nos dias de hoje, as condições de El Niño foram associadas a áreas mais suscetíveis a incêndios (NEPSTAD et al., 2004).

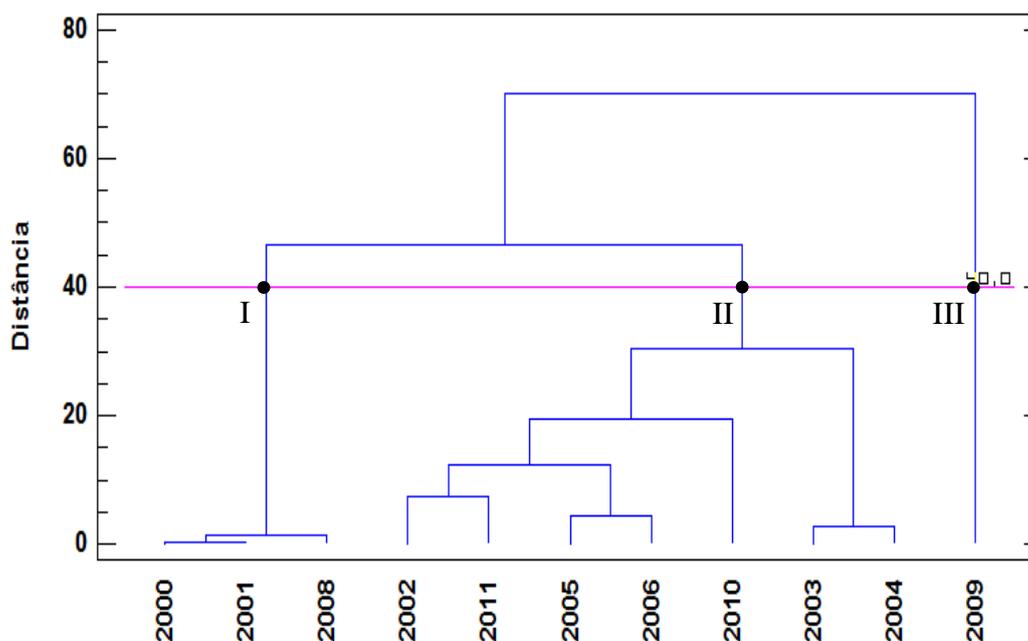


Figura 13. Dendrograma dos focos de calor para todas as estações

Os resultados da metodologia do INPE para o índice de risco de incêndio mostraram que os municípios de Manicoré, Parintins e Itacoatiara registraram os maiores percentuais de riscos classificados como alto ou crítico ($RF > 0,7$) em relação às demais regiões de estudo, indicando que nestas áreas os focos de calor estão associados às condições meteorológicas. Manicoré apresentou 40% dos focos de calor nestas classes, Parintins apresentou 25% e Itacoatiara 21,5%. Os resultados para o índice de risco de incêndio pela metodologia do INPE têm a desvantagem da pequena amplitude da série temporal (de 2001 a 2011 para a maioria das regiões), seguido do fato de só apresentar dados para os dias em que foram detectados focos de calor, não apresentando uma quantidade de dados suficiente para estudar a tendência do risco ao longo de uma série temporal maior.

Diante disto, os índices de risco FMA e FMA^+ representam uma boa alternativa para a análise de tendência do risco de incêndio, por permitir maior

amplitude da série temporal (1977 - 2011), ainda que alguns anos não apresentassem risco calculado pela falta de dados de umidade relativa e velocidade do vento. Segundo o teste de Mann-Kendall (Tabela 11), Coari, Manaus e Manicoré apresentaram aumento do risco de incêndios médio anual (1977-2011) calculado tanto pela fórmula de Monte Alegre (FMA) quanto pela fórmula de Monte Alegre Ajustada (FMA⁺), indicando o aumento das condições meteorológicas propícias para ocorrência de incêndios. No entanto, esta tendência de aumento não ocorre para o período 1998-2011, sugerindo que as condições meteorológicas se modificaram antes deste período, como observado na Figura 8, onde os anos entre 1997 e 2011 foram agrupados em um grupo homogêneo segundo as variáveis climáticas.

Apesar de não existir tendência significativa de acréscimo do risco entre 1998 e 2011, o aumento do risco para o período 1977-2011 em Coari parece interferir no aumento da ocorrência e densidade de incêndios no período 1998-2011 (Tabela 14). Parintins e Itacoatiara também apresentaram aumento significativo no número e densidade de focos de calor ao longo do período 1998-2011 pelo teste de Mann-Kendall (Tabela 14). O fato dos municípios Manaus e Manicoré não apresentarem tendência de aumento no número e densidade de focos de calor de 1998 a 2011, não significa que estes não aumentaram no período de 1977 a 2011, fato que não pode ser comprovado pela falta de séries temporais mais longas de focos de calor.

Tabela 14. Resultados do teste de Mann-Kendall para o número e densidade de focos de calor (1998 a 2011) e para os índices de risco FMA e FMA⁺ (1977 a 2011)

Variáveis	Barcelos	Coari	Codajás	Itacoatiara	Manaus	Manicoré	Parintins
Focos	0,93	2,24*	1,41	1,97*	0,49	1,59	2,08*
FMA	1,59	2,06*	1,65	1,43	2,85*	2,27*	0,99
FMA ⁺	1,54	2,10*	1,65	1,56	2,89*	2,36*	0,76

*p-valor < 0,05

A tendência ao aumento das temperaturas do ar e do CDD nos períodos secos favorece as condições para a ocorrência de incêndios na região de estudo. Observa-se que a estação seca tem um maior número de focos de calor em toda a região de estudo, principalmente nos meses de agosto, setembro e outubro, que representam 91,82% em Manicoré; 84,80% em Codajás; 77,48% dos focos em Coari; 76,59% em Itacoatiara; 69,68% em Manaus; e 59,89% em Parintins. O mês de novembro apresentou um percentual alto de focos de calor nestes três últimos municípios, principalmente em Parintins, que apresentou 27,91% dos focos de calor neste mês, pois nestes três municípios, o período de seca também abrange o mês de novembro. Como Barcelos se localiza no norte do Estado, está sob um regime diferente de período de seca, que se estende até fevereiro, com março sendo um mês de transição. Por isso, esta região teve predominância de focos de calor nos meses de janeiro, fevereiro e março, com 76,56% dos focos nestes meses. Um diagnóstico multitemporal dos focos de calor realizado em uma Área de Proteção Ambiental em Tocantins (APA Serra do Lajeado), nos períodos de maio de 1995 a 2008, também evidenciaram que a época em que mais ocorreram focos de calor foi na estação seca, com 71% dos focos no período entre agosto e setembro, meses do período de seca no Estado do Tocantins (COELHO et al., 2009).

Assim como para os focos de calor, os índices de risco de incêndios FMA e FMA⁺ apresentaram maiores valores no período de seca e também maior quantidade de riscos classificados como altos ou muito altos, comprovando que neste período o risco de ocorrência de incêndios é maior. Além disso, o teste de Mann-Kendall verificou uma

tendência de aumento do índice de risco FMA e FMA⁺ médio mensal entre 1977-2011 de pelo menos um mês do período seco nos municípios Barcelos, Coari, Codajás e Manaus (Tabela 15). Em Itacoatiara somente o índice de risco FMA relativo ao mês de outubro apresentou tendência de aumento. Em Codajás e Coari também ocorreu aumento do risco em meses de transição entre período seco e úmido. Em Manicoré, apesar da tendência de aumento do risco médio anual (Tabela 14), não ocorreu tendência de aumento do risco médio mensal em meses do período seco, mas sim nos meses abril e novembro. Em Parintins, ocorreu a diminuição do índice de risco médio FMA e FMA⁺ em abril e do índice FMA⁺ em maio. Nestes dois meses a precipitação mensal apresentou tendência de aumento o que explica a diminuição do risco de incêndio.

Tabela 15. Resultados do teste de Mann-Kendall para os índices de risco médios mensais FMA e FMA⁺ (1977 a 2011)

Mês	Risco	Barcelos	Coari	Codajás	Itacoatiara	Manaus	Manicoré	Parintins
Jan	FMA	0,45	0,28	0,33	0,73	0,53	0,86	-1,09
	FMA ⁺	0,50	0,23	0,29	0,77	0,34	0,90	-1,09
Fev	FMA	0,50	-0,50	0,28	0,15	-0,63	1,54	1,43
	FMA ⁺	0,50	-0,30	0,33	0,20	-0,83	1,54	1,43
Mar	FMA	1,24	1,39	1,63	-0,09	0,24	2,29*	0,84
	FMA ⁺	1,29	1,44	1,96*	-0,37	0,08	2,24*	0,78
Abr	FMA	2,00*	1,61	1,40	-1,03	0,55	0,74	-2,20*
	FMA ⁺	1,95	1,56	1,63	-1,31	0,32	0,89	-2,62*
Mai	FMA	1,33	2,40*	1,79	-1,40	0,99	0,89	-1,78
	FMA ⁺	1,27	2,40*	1,98*	-1,56	0,71	0,99	-2,06*
Jun	FMA	2,14*	0,48	0,00	-0,79	-0,98	1,56	0,10
	FMA ⁺	2,08*	0,42	0,05	-0,94	-0,85	1,40	-0,03
Jul	FMA	-1,19	2,00*	2,43*	0,79	0,90	1,84	-0,26
	FMA ⁺	-1,14	2,00*	2,58*	0,69	0,98	1,84	-0,71
Ago	FMA	2,09*	1,35	0,89	1,51	2,81*	1,35	1,87
	FMA ⁺	2,19*	1,51	1,03	1,61	2,84*	1,40	1,75
Set	FMA	1,40	0,74	0,28	0,94	2,11*	1,40	0,30
	FMA ⁺	1,24	0,84	0,37	0,71	2,02*	1,45	0,30
Out	FMA	2,09*	2,48*	2,06*	2,33*	2,73*	1,73	1,57
	FMA ⁺	2,03*	2,38*	2,10*	2,35	2,81*	1,87	1,39
Nov	FMA	-0,18	1,64	0,37	0,00	0,35	3,13*	-0,84
	FMA ⁺	-0,13	1,69	0,51	0,09	0,19	3,18*	-0,84
Dez	FMA	0,82	2,98*	0,65	1,35	1,61	1,87	-0,19
	FMA ⁺	0,66	3,13*	0,84	1,31	1,56	1,87	-0,26

*p-valor < 0,05

Soares-Filho et al. (2012), através de modelos que incorporam cenários de mudanças climáticas, desmatamento e usos da terra, para a região das nascentes do Xingu (Estado do Mato Grosso), verificaram aumento na porcentagem de incêndios florestais devido às mudanças climáticas, ainda que este aumento é baixo quando comparado ao efeito do desmatamento, que produz uma intensidade de incêndios ainda maior.

Sendo assim, conclui-se que as mudanças do clima, com o aumento da intensidade dos períodos secos, aumentam o risco de incêndios florestais. Em consequência, o aumento da frequência dos incêndios pode provocar secas ainda mais intensas, modificando gradativamente a cobertura florestal e o clima. Por isso, é previsível que a extensão do período de alerta de luta contra incêndios se incremente.

Os municípios que apresentaram maior área anual acumulada de desmatamento foram Itacoatiara e Manicoré (Figura 14). Porém, Manicoré apresentou maior incremento do desmatamento entre 2003 e 2006, enquanto os demais municípios apresentaram maior incremento em 2001, com pequenas áreas de desmatamento nos anos seguintes.

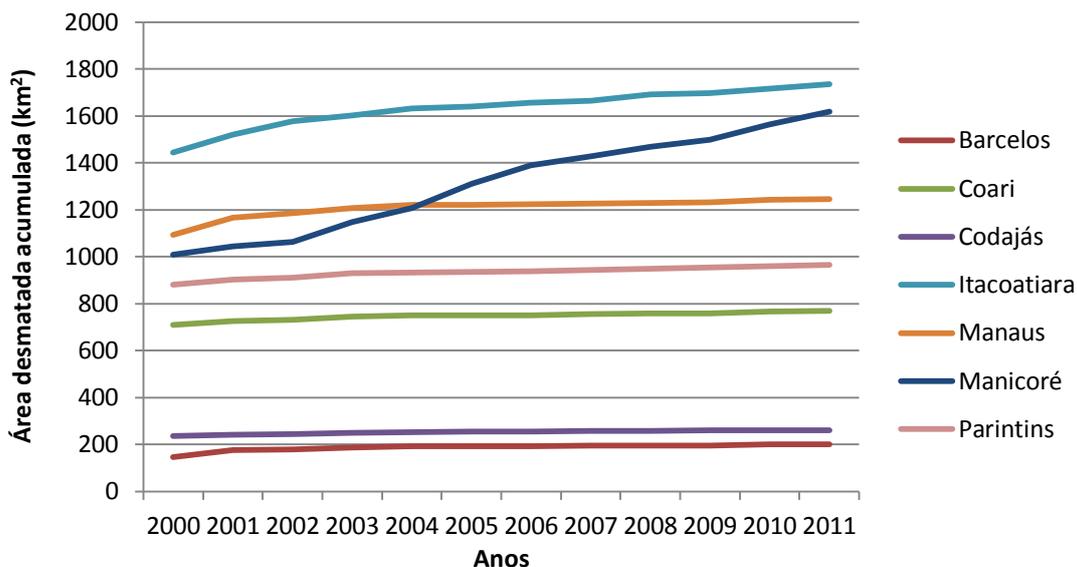


Figura 14. Área desmatada total dos sete municípios entre 2000 e 2011

As maiores taxas de desmatamento para o estado do Amazonas (entre 1977 e 2011) foram verificadas entre 2003 e 2006 e 2009-2010, anos que também apresentaram alta ocorrência de focos de calor (Figura 15). O coeficiente de correlação (r) entre a área desmatada e o total de focos de calor mostra que estas variáveis estão significativamente correlacionadas, com $r = 0,75$ [IC 95%: 0,37 - 0,91] (p -valor = 0,0019). Porém, observando as Figuras 15 e 16 verifica-se a existência de quatro anos que apresentaram elevado número de focos com taxa de desmatamento relativamente baixa, se comparada com os demais anos avaliados. Desconsiderando esses anos discrepantes, o coeficiente r aumenta consideravelmente, sendo $r = 0,96$ [IC 95%: 0,82 - 0,99] (p -valor = 1.539e-05).

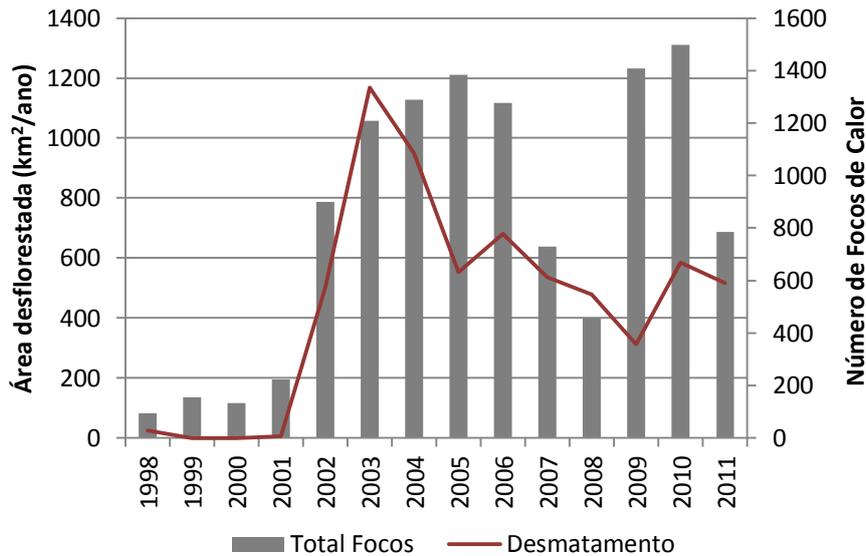


Figura 15. Relação anual entre o total de focos de calor das regiões estudadas e a área desmatada (km²/ano) do Estado do Amazonas

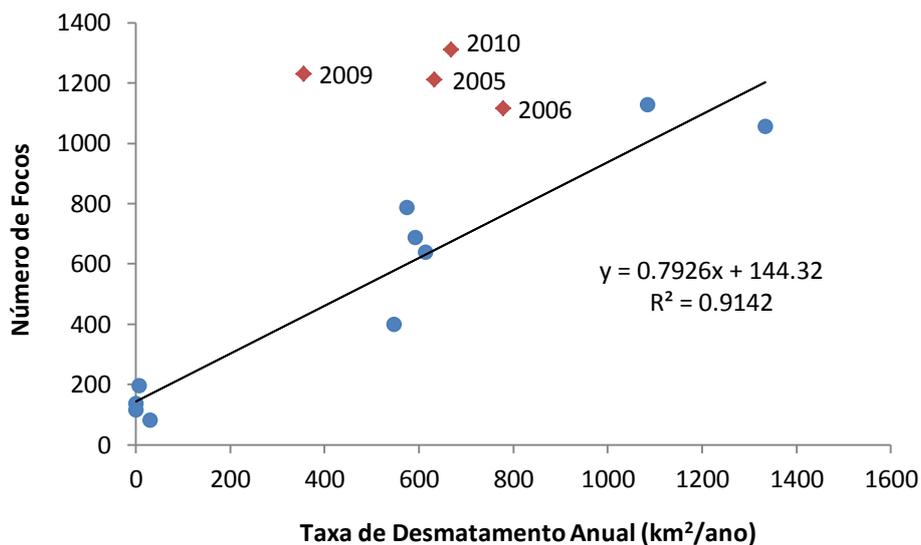


Figura 16. Relação entre o total dos focos de calor dos sete municípios estudados e a taxa de desmatamento do estado do Amazonas. Pontos em vermelho representam anos discrepantes que não foram considerados na reta de regressão

Esses anos discrepantes verificados na Figura 16 estão relacionados a outras causas para ocorrência dos incêndios na região, distintas do desmatamento. Os anos 2009 e 2010 foram anos com aumento da TSM no Oceano Pacífico, o que caracteriza o episódio de El Niño, sendo uma das prováveis causas para o aumento dos focos de calor nos respectivos anos, por provocar o aumento da seca na Amazônia, propiciando maiores condições para a ocorrência e propagação de incêndios na região. Em 2005 e 2010 também foram registradas secas (períodos de estiagens prolongadas) em diversas regiões da Amazônia, principalmente na região sul da Amazônia, que foram associadas às circulações atmosféricas e oceânicas do Atlântico Norte Tropical (NOBRE et al., 2007). Provavelmente, esse evento teve influência sobre os focos de calor em 2010,

atuando juntamente ao fenômeno El Niño, e também em 2005, podendo ter refletido em condições anômalas também no ano de 2006.

Em relação à área acumulada de desmatamento e o número de focos de calor para cada município, no período de 2001 a 2011, somente Manicoré apresentou correlação significativa entre as duas variáveis, com $r = 0,75$ [IC 95%: 0,28 - 0,93] (p -valor = 0,007385), uma vez que este município apresentou altas taxas de desmatamento e de focos de calor, ambos concentrados entre 2003 e 2006 (Figura 17), indicando uma forte relação causal entre o incêndio florestal e o desmatamento neste município.

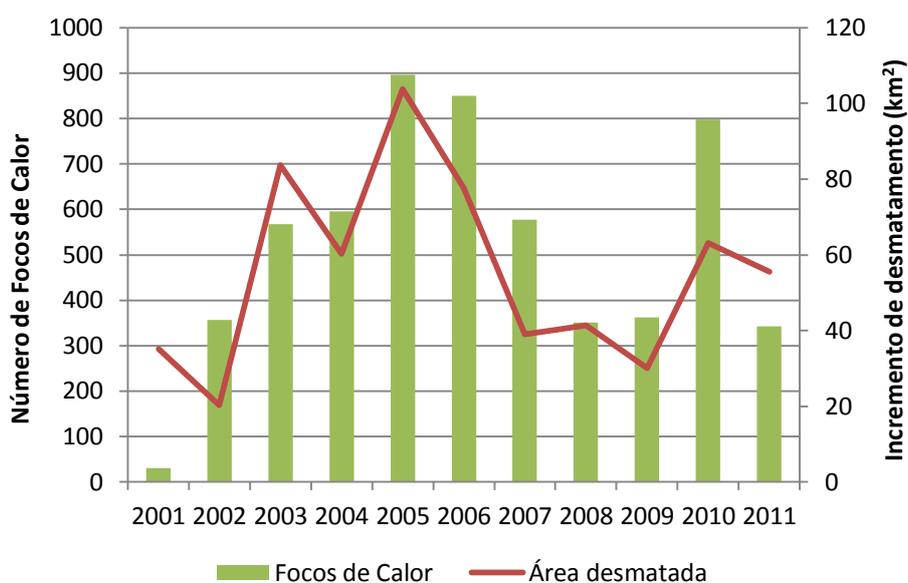


Figura 17. Relação anual entre o número de focos de calor e o incremento de área desmatada (km²) em Manicoré

O desmatamento está relacionado com a ocorrência de incêndios, uma vez que estes, muitas vezes ocorrem em áreas recém-desmatadas da Amazônia (IBGE, 2010), devido à modificação do microclima do lugar, que se torna mais seco e, portanto, mais vulnerável a incêndios (DAVIDSON et al., 2012). A região sul do estado do Amazonas, onde se insere o município Manicoré, difere bastante das demais regiões em termos de logística e transporte, pois apresenta rodovias federais, pelas quais o desmatamento geralmente se expande, enquanto que no resto da Amazônia o meio principal é fluvial. Nessa região, ainda existe uma tendência de migração do desmatamento devido à exploração florestal e à consolidação de áreas agropecuárias dos outros Estados da Amazônia Brasileira para o Amazonas (CENAMO et al., 2011), fazendo com que no sul do estado as taxas de desmatamento sejam altas e favoráveis a ocorrência de incêndios.

3.3. Dinâmica entre mudança do clima e mudança no uso do solo

Na Figura 18, podem-se observar as variáveis climáticas mais relacionadas à ocorrência anual dos focos de calor, desmatamento e crescimento populacional, quando correlacionadas, para cada município, através dos resultados da análise fatorial. Em todos os municípios, exceto Parintins, o desmatamento no estado do Amazonas apresentou correlação com o aumento da temperatura e da frequência de dias com temperaturas extremas, sendo que em Coari e Barcelos essa relação só ocorreu com a temperatura mínima e TN90p e em Manicoré, somente com a temperatura máxima e TX90p. O crescimento populacional também mostrou relação com essas variáveis

climáticas nas regiões estudadas, com exceção de Codajás. Quanto aos focos de calor, estes só se enquadraram no mesmo fator relacionado ao aumento das temperaturas nos municípios Coari (Figura 18a) e Manicoré (Figura 18b), mostrando que a variabilidade anual dos focos de calor nestas localidades está relacionada à variabilidade da série temporal de temperatura. Tais relações evidenciam a relevância do uso da terra para a regulação das variáveis climáticas, ambas interagindo mutuamente.

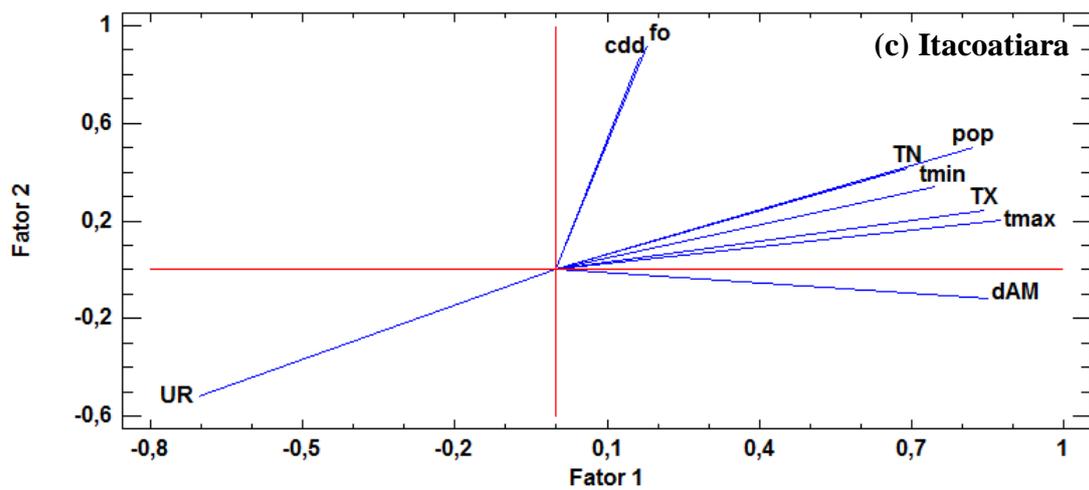
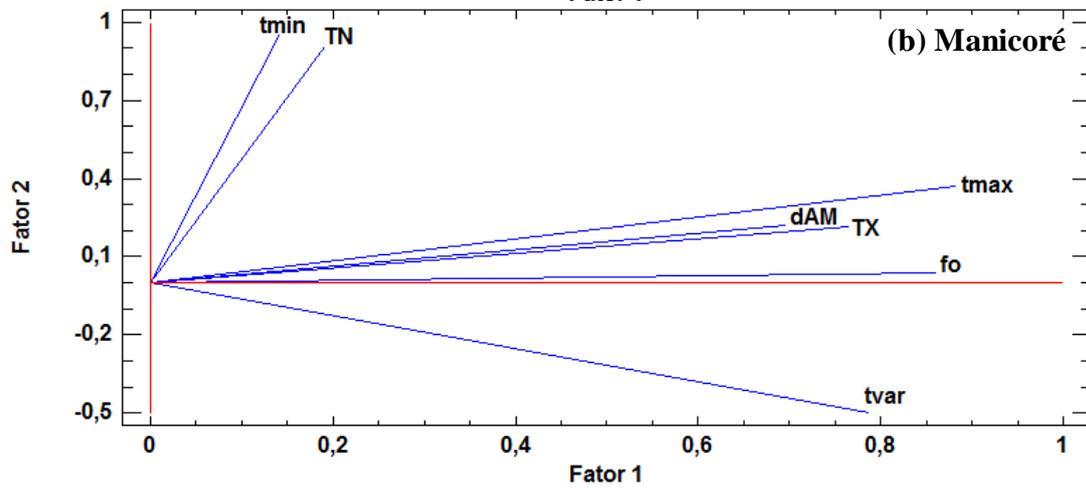
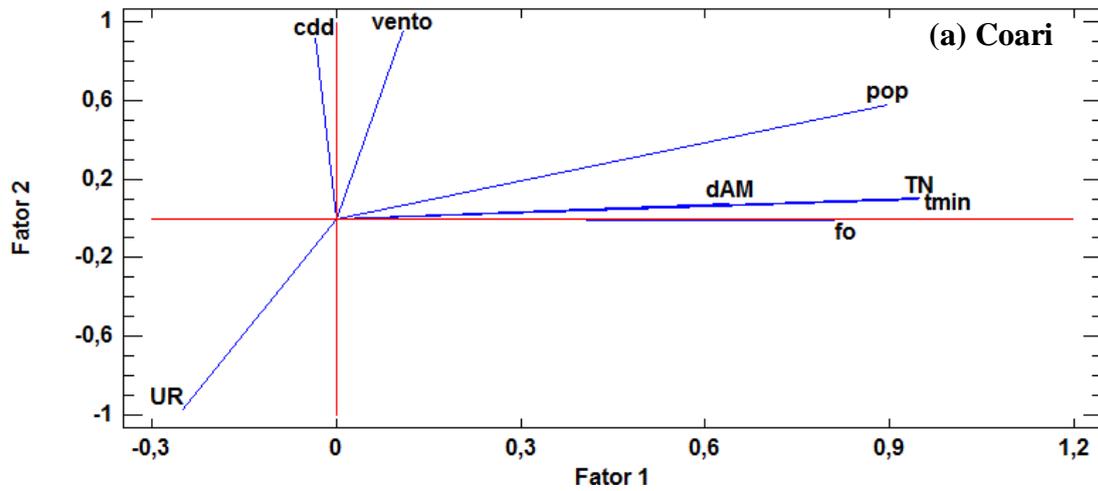
Em Itacoatiara, os focos de calor foram agrupados no mesmo fator que o CDD anual, também tendo relação com a diminuição da umidade relativa (Figura 18c). No entanto, o CDD não apresentou tendência significativa pelo teste de Mann-Kendall, apesar do maior número de dias consecutivos secos nos anos 2005 e 2009. Neste sentido, a análise fatorial indica que os focos apresentam variabilidade dos dados similar à do CDD e da umidade relativa, pela correlação significativa entre estas variáveis ($r = 0,74$ para CDD; $r = -0,71$ para umidade relativa; p -valor $< 0,05$), ou seja, o número de focos aumentou nos anos 2005 e 2009 pela maior seca que ocorreu. Esses anos anômalos provavelmente foram devidos à Oscilação do Atlântico Norte em 2005 e ao episódio de El Niño de 2009.

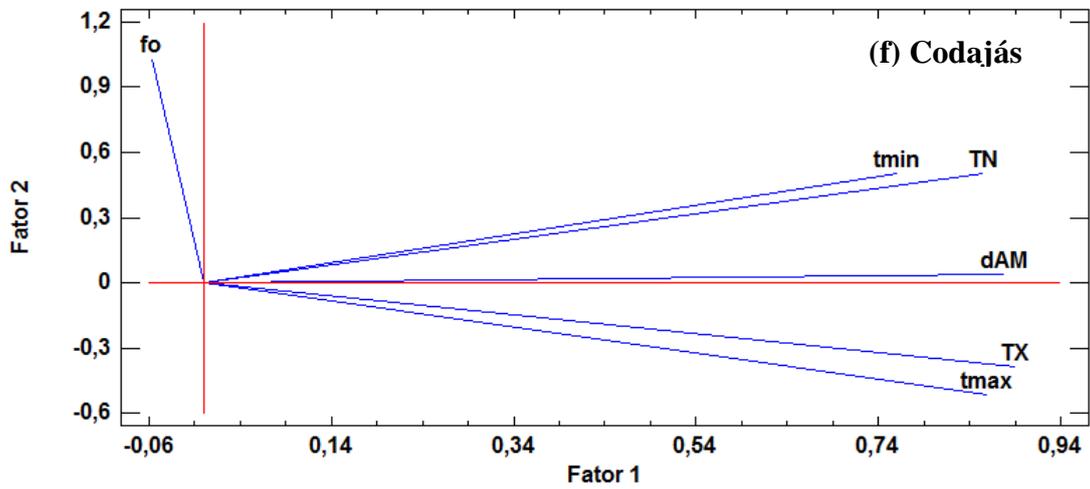
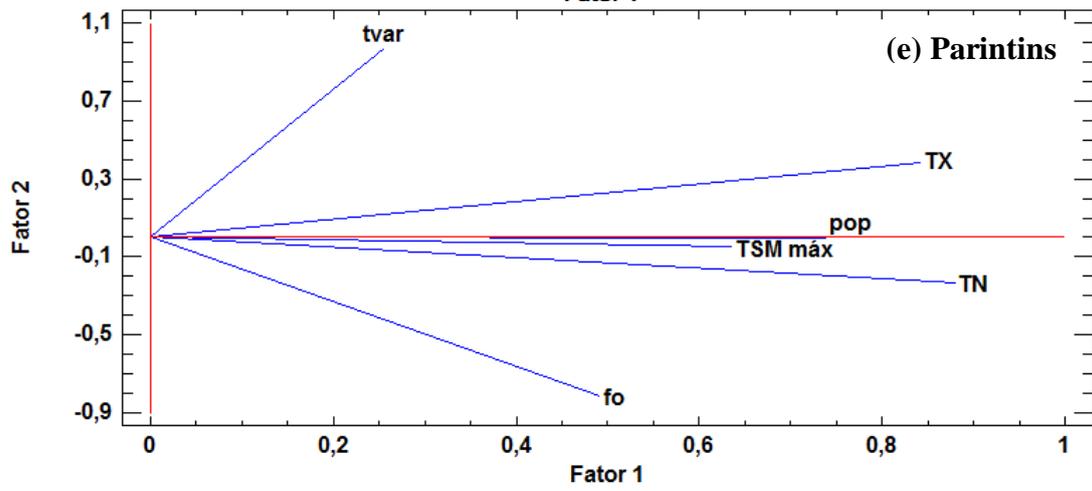
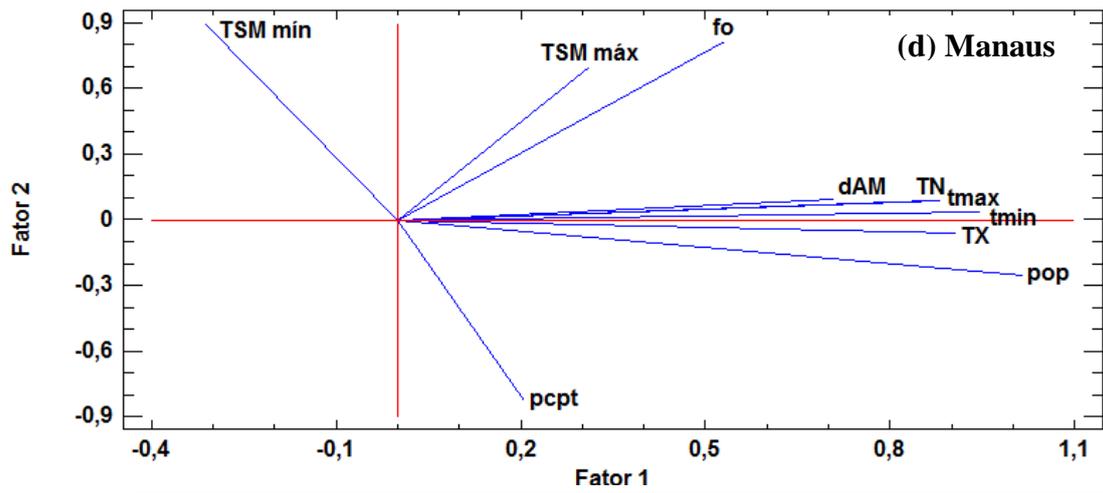
Em Manaus, os focos de calor estão relacionados com a diminuição da precipitação, devido às anomalias positivas (El Niño) e negativas (La Niña) da TSM no Oceano Pacífico. A análise fatorial (Figura 18d) mostra que o aumento dessas anomalias, produzem a diminuição da precipitação e, com isso, o aumento dos focos de calor. Assim como Manaus, Parintins (Figura 18e) também apresentou interferência do fenômeno El Niño, devido à variabilidade da anomalia de TSM máxima anual relacionada com o número de dias e noites quentes (TX90p e TN90p), também apresentando relação com os focos de calor. Porém, os incêndios foram mais relacionados com o fator que contém a amplitude térmica, de forma que a diminuição da amplitude está associada ao aumento do número de focos.

Em Barcelos, os focos de calor também apresentaram poder de explicação em dois fatores, um contendo a anomalia mínima de TSM anual e outro com a temperatura mínima, TN90p, amplitude térmica, umidade relativa, desmatamento do Amazonas e crescimento populacional. Isso significa que os focos de calor sofrem influência tanto dos fenômenos El Niño e La Niña como do desmatamento regional, crescimento populacional e mudança do clima (Figura 18g). A diminuição da amplitude térmica neste município mostra-se relacionada com o aumento do desmatamento ($r = -0,71$) e crescimento populacional ($r = -0,89$), concordando com Marengo (2007) que afirma que a tendência negativa na amplitude térmica pode ser ocasionada pelo efeito urbano. Coari, que também apresentou tendência de diminuição da amplitude térmica, também mostrou uma correlação significativa desta com o desmatamento ($r = -0,46$) e crescimento populacional ($r = -0,94$).

Dentre as regiões estudadas, Codajás foi a que menos apresentou efeitos antrópicos, tendo a menor população dentre as demais, baixa taxa de desmatamento e o menor número de focos de calor. No entanto, apresentou tendência de aumento da temperatura máxima e mínima e da frequência de dias e noites com temperaturas extremas. Estas variáveis apresentaram correlação significativa (p -valor $< 0,05$) com a taxa anual de desmatamento do estado do Amazonas ($r = 0,69$ para temperatura máxima, $r = 0,59$ para temperatura mínima, $r = 0,67$ para TX90p, $r = 0,77$ para TN90p) indicando que este desmatamento regional afeta as temperaturas neste município, o que pode ser observado na Figura 18f, que apresenta a análise fatorial entre variáveis climáticas e antrópicas. A AF identificou dois fatores que explicam 90,82% da variabilidade dos dados originais. A frequência anual de focos de calor neste município

não apresentou relação de causa-efeito com nenhuma variável climática ou de uso da terra estudada.





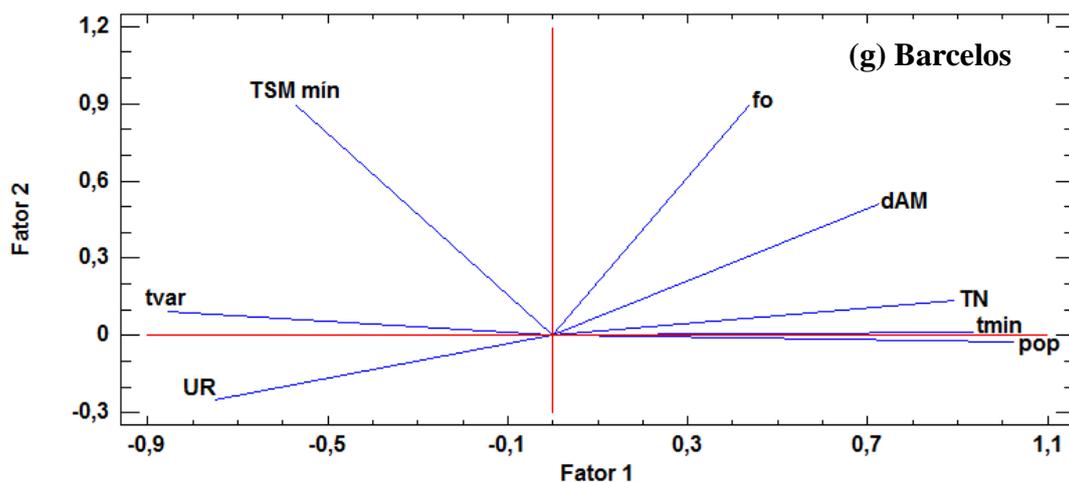


Figura 18. Análise fatorial entre focos de calor e variáveis relacionadas para Coari (a), Manicoré (b), Itacoatiara (c), Manaus (d), Parintins (e), Codajás (f) e Barcelos (g). (dAM=taxa de desmatamento anual do Amazonas, fo= número de focos de calor por ano, tmax= temperatura máxima, tmin= temperatura mínima, tvar= amplitude térmica, TX= máximo número de dias com temperatura máxima extrema, TN= máximo número de dias com temperatura mínima extrema, CDD = máximo de dias consecutivos secos por ano, UR= umidade relativa, pcpt= precipitação anual, TSM máx= máxima anomalia de TSM anual, TSM mín= mínima anomalia de TSM anual, vento= velocidade do vento, pop= população total)

A análise fatorial aplicada à frequência anual dos focos de calor (Figura 19) identificou três fatores, que explicam 87,5% da variabilidade total dos dados de focos dos sete municípios. O primeiro fator, que explica a maior parte da variabilidade dos dados (51,5%), é representado pelos municípios Itacoatiara, Parintins, Manaus e Codajás. O segundo fator é composto pelos dados de focos dos municípios Manicoré e Coari, responsáveis por 18,82% da variância explicada. O terceiro fator é representado pelos focos em Barcelos e explica 17,17% da variabilidade dos dados originais. Esses fatores podem ser interpretados como um agrupamento dos municípios com variabilidade similar na série temporal de focos de calor, com maior concentração dos focos de calor em anos específicos: o fator 1 é composto por municípios que apresentam maior concentração dos focos em 2009, já no fator 2, os focos se concentram em 2005 e 2010 e no fator 3, em 2003 e 2004. No entanto, na figura 19, pode-se observar que os focos de Coari e Codajás possuem certo grau de explicação em outros fatores: Coari apresenta carga 0,5 para o fator 1 e Codajás possui carga 0,42 para o fator 2. Isso ocorre porque em Coari existe também um maior número de focos no ano de 2009, enquanto que em Codajás, os focos aumentaram em 2010, fazendo com que estes municípios expliquem parte da variabilidade de dois fatores.

A razão pela qual a frequência de focos de calor foi maior em 2009 nos municípios agrupados no fator 1 pode ser devida a interferência do forte evento de El Niño que ocorreu neste ano nas variáveis do clima desta região, propiciando condições para a ocorrência de incêndios. Já para o fator 3, constituído por Barcelos, a maior concentração dos focos em 2003 e 2004 coincide com as maiores taxas de desmatamento do estado do Amazonas, indicando que este desmatamento pode ter ocasionado melhores condições para a ocorrência de incêndios florestais nestes anos.

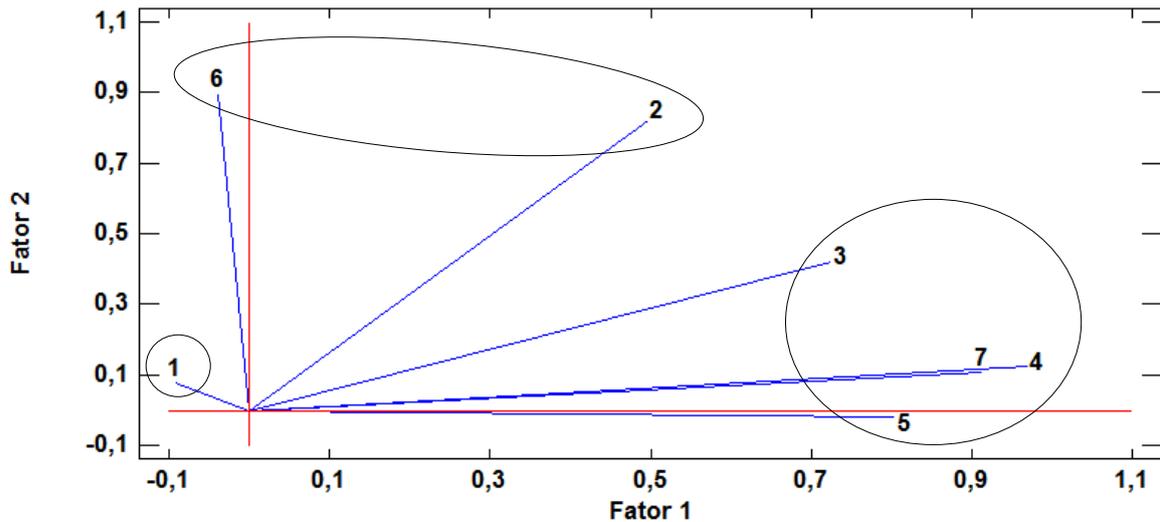


Figura 19. Análise fatorial dos focos de calor para as sete estações (1= Barcelos, 2= Coari, 3= Codajás, 4= Itacoatiara, 5= Manaus, 6= Manicoré, 7= Parintins)

A análise fatorial da figura 20, na qual foram adicionadas à análise fatorial anterior as variáveis taxa de desmatamento do estado do Amazonas e anomalia máxima anual da temperatura à superfície do mar, evidencia que o desmatamento é mais relacionado com os focos em Barcelos, embora também tenha valores próximos ao município de Manicoré. Já o fenômeno El Niño de 2009, evidenciado pela alta anomalia positiva na TSM deste ano, está mais relacionado com os municípios pertencentes ao fator 1, comprovando que a elevada frequência de focos neste ano sofreu interferência deste fenômeno.

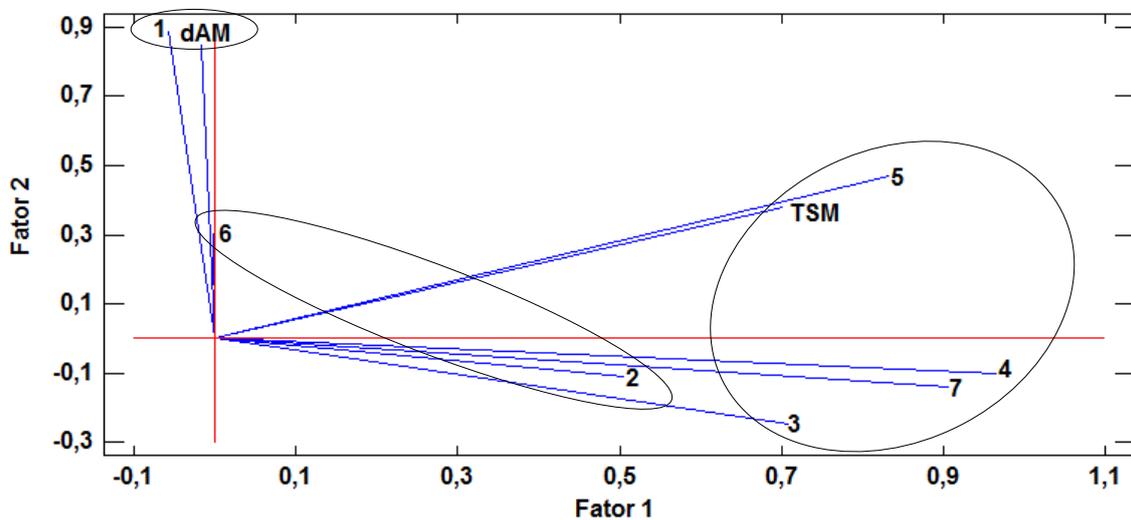


Figura 20. Análise fatorial dos focos de calor para as sete estações (1= Barcelos, 2= Coari, 3= Codajás, 4= Itacoatiara, 5= Manaus, 6= Manicoré, 7= Parintins), do incremento anual de desmatamento do estado do Amazonas (dAM) e da máxima anomalia anual da temperatura da superfície do mar (TSM)

Na figura 21, pode-se verificar que, no ano 2009, em que ocorreu El Niño, os focos de calor concentram-se no centro do estado do Amazonas, enquanto que, em 2008, ano em que não ocorreu El Niño, mas sim La Niña, os focos de calor apresentam baixa concentração nos municípios ao centro do estado e alta concentração na divisa ao

sul, onde se encontra o Arco do Desflorestamento, mostrando que este fenômeno não produz grandes interferências na dinâmica dos incêndios no sul, mas interfere no centro. Estes resultados condizem com o observado na literatura, que indica que as secas causadas pelo El Niño são mais pronunciadas nas áreas norte, central e leste da bacia Amazônica (NOBRE et al., 2007).

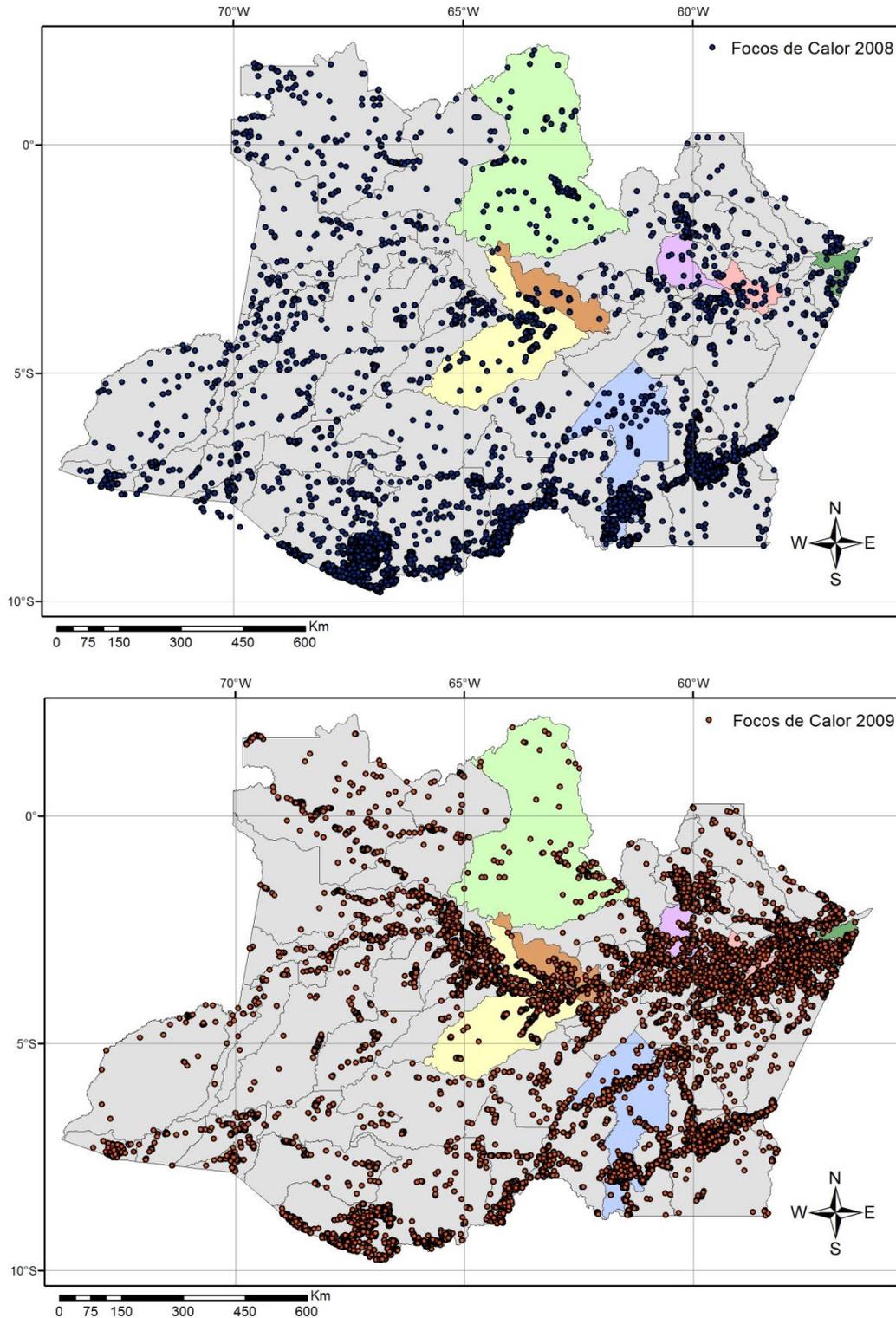


Figura 21. Distribuição dos focos de calor em 2008 e 2009 na região Norte

Em relação aos municípios Coari e Manicoré, a frequência anual dos incêndios apresentou relação com a variabilidade anual da temperatura (máxima em Manicoré e mínima em Coari), como foi observado nas Figuras 18a e 18b. Além da interferência das temperaturas mais quentes, a alta ocorrência de focos em 2005 e 2010 pode estar relacionada à seca devido às temperaturas mais altas do que o normal na superfície do mar no norte do Atlântico tropical. Em 2005 este fenômeno ocorreu sem influência do fenômeno El Niño, porém, em 2010, além do aquecimento no Oceano Atlântico Tropical, também foi registrado um evento de seca no início do verão austral, associado ao El Niño, ou seja, este ano teve interferência dos dois fenômenos. Coari também apresentou um considerável fator de explicação no fator 1 (carga de 0,51), indicando que este município também teve influência do fenômeno El Niño.

A interferência das oscilações oceânico-atmosféricas sobre os incêndios florestais também foram relatadas por Chen et al. (2011) que verificaram uma correlação entre o El Niño e a atividade interanual de incêndios na região leste da Amazônia, enquanto que as oscilações do Oceano Atlântico foram associadas com incêndios no sul e sudoeste da Amazônia, resultados compatíveis com o encontrado neste estudo: incêndios devido ao El Niño nos municípios a leste (Codajás, Itacoatiara, Manaus e Parintins) e incêndios nos anos de oscilação do Atlântico norte (2005 e 2010) nos municípios do sul e sudoeste (Coari e Manicoré).

Em alguns casos, a modificação de algumas variáveis climáticas não apresentou correlação significativa com nenhuma variável antrópica ou natural (ENOS) analisada neste estudo. Cabe ressaltar que a modificação destas variáveis pode estar relacionada com forças antropogênicas de escala global, tais como o aumento da concentração de gases do efeito estufa, o que não foi avaliado neste estudo, que avaliou as variáveis de impacto local e regional.

4. CONCLUSÕES

As análises realizadas neste estudo mostram mudanças significativas nas variáveis climáticas da região Amazônica, principalmente com o aumento das temperaturas mínimas e máximas, maior frequência de dias e noites com temperaturas extremas, seguido do aumento da severidade dos períodos de seca.

Mudanças no uso da terra, tais como o desmatamento, o crescimento populacional e os incêndios florestais, contribuíram para determinar o aumento das temperaturas do ar e da frequência de dias com temperaturas extremas, na maioria dos municípios estudados.

As mudanças climáticas provocaram um aumento significativo do risco de incêndios florestais (FMA e FMA⁺), além de maior quantidade de riscos categorizados como altos ou muito altos, principalmente na estação seca. Os incêndios florestais na região Amazônica estão associados com as práticas de uso da terra, sendo fortemente correlacionados com o desmatamento.

Os focos de calor detectados nos municípios Itacoatiara, Parintins, Manaus e Codajás, regiões centrais no estado do Amazonas, são fortemente relacionados com as oscilações do fenômeno El Niño em relação aos demais municípios estudados. No município de Barcelos os focos de calor apresentaram alta correlação com o desmatamento regional.

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que o clima, a floresta e os usos da terra na região Amazônica estão fortemente interligados, de forma que mudanças em um desses componentes do sistema acarretam em modificações nos demais e, por fim impactam na dinâmica do ecossistema amazônico.

Vale ressaltar que estudos numéricos e ferramentas estatísticas (Análise Harmônica ou Técnica de Wavelet) se fazem necessários para comprovar se essa dinâmica possui uma periodicidade.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMAZONAS. Governo do Estado. **A Floresta Amazônica e seu Papel nas Mudanças Climáticas**. Série Técnica Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Manaus: SDS/CECLIMA, n. 18, 2009. 36p.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Região Hidrográfica Amazônica**. 2013. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/amazonica.aspx>>. Acesso em: 20 nov. 2013.

BATISTA, A.C. Detecção de incêndios florestais por satélite. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, p. 237-241, mai/ago 2004.

BARRETO, P. et al. **Pressão humana na floresta amazônica brasileira**. Belém: WRI; Imazon, 2005. 84 p.

BRASIL. Lei nº 1.806, de 06 de janeiro de 1953. Dispõe sobre o Plano de Valorização Econômica da Amazônia, cria a superintendência da sua execução e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 07 jan. 1953. Seção 1, p. 276.

BROWN, I.F. et al. Fires in rain forests of southwestern Amazonia: Multi-national satellite imagery for monitoring and for informing the public. **EOS Transactions**, v. 87, n. 26, p. 253-264, 2006.

CARNEIRO FILHO, A. **Atlas de pressões e ameaças às terras indígenas na Amazônia brasileira**. São Paulo : Instituto Socioambiental, 2009. 48p.

CENAMO, M. C.; CARRERO, G. C.; SOARES, P. G. **Redução de Emissões do Desmatamento e Degradação Florestal (REDD+)**: Estudo de Oportunidades para o Sul do Amazonas. Série Relatórios Técnicos - Instituto de Conservação e Desenvolvimento Sustentável do Amazonas - IDESAM, Manaus. v. 1., 2011. 56f.

CERQUEIRA, J. L. R. P. **Estudo radiometeorológico da Região Amazônica**. 2006. 261 p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - Rio de Janeiro.

CHEN, Y. et al. Forecasting Fire Season Severity in South America Using Sea Surface Temperature Anomalies. **Science**, v. 334, p. 787-791, 2011.

COELHO, A. C.; RAMOS, F. O.; BATISTA, P. G. **Diagnóstico multitemporal dos focos de calor na Área de Proteção Ambiental - APA Serra do Lajedo - Palmas - TO**. 2009. 12 f. Relatório (Tecnologia em Gestão Ambiental). Faculdade Católica do Tocantins. Tocantins, 2009.

- CONRADO, D. et al. Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas. In: SANQUETTA, C. R.; ZILLOTTO, M. A. B.; CORTE, A. P. **Carbono: desenvolvimento tecnológico, aplicação e mercado global**. Curitiba: UFPR/Ecoplan, 2006. p. 80-92.
- CORRAR, L. J.; PAULO, E.; DIAS FILHO, J. M. (coordenadores). **Análise Multivariada: para os cursos de administração, ciências contábeis e economia**. 1.ed., 2. reimp., São Paulo: Atlas, 2009. 541 p.
- CPTEC – Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos. **Monitoramento de focos**. Disponível em: <<http://pirandira.cptec.inpe.br/queimadas/>>. Acesso em: 04 fev. 2013.
- CUTRIM, E. M. C.; MOLION, L. B.; NECHET, D. Chuvas na Amazônia durante o século XX, **Anais... XI CBMET**. Rio de Janeiro. SBMET, p. 1327-1333, 2000.
- DAVIDSON, E. A. et al. The Amazon basin in transition. **Nature**, v. 481, n. 10717, p. 321-328, 2012.
- DELGADO, R. C. et al. Tendência climática de aumento da temperatura mínima e da pressão de saturação do vapor d'água na Amazônia ocidental. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. 2584-2592, 2012.
- DESONIE, D. **Climate: Causes and Effects of Climate Change**. Our Fragile Planet. Chelsea House, 2008. Disponível em: <<http://lib.mylibrary.com?ID=130699>>. Acesso em: 25 nov. 2012.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Satélites de Monitoramento**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 23 out. 2013
- EIPHANIO, J. C. N. **Satélites de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos: INPE-8984-PUD/62, 2002. 37p.
- FAS - Fundação Amazonas Sustentável. **Relatório de Gestão**. 2011. Disponível em: <fas-amazonas.org/versao/.../RELATORIO-DE-GESTAO-2011-FAS.pdf>. Acesso em: 23 out. 2013.
- FEARNSIDE, P. M. A. **A Floresta Amazônica nas mudanças globais**. Manaus : INPA - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 2003, 134 p.
- FEARNSIDE, P. M. A. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. **Megadiversidade**, v.1, n. 1, p. 113 - 123, jul. 2005.
- FEARNSIDE, P. M. A. Vulnerabilidade da Floresta Amazônica Perante as Mudanças Climáticas. **Oecologia Brasiliensis**, v.13, n.4, p. 609-618, 2009.
- FERRAZ, S. F. B. et al. R. Landscape dynamics of Amazonian deforestation between 1984 and 2002 in central Rondônia, Brazil: assessment and future scenarios. **Forest Ecology and Management**, v. 204, p. 67-83, 2005.

FIGUEROA, S. N.; NOBRE, C. A. Precipitations distribution over Central and Western Tropical South America. **Climanálise** - Boletim de Monitoramento e Análise Climática, v.5, n.6, p. 36 - 45, 1990.

FLORENZANO, T. G. **Os Satélites e Suas Aplicações**. Série Espacializando. São José dos Campos - SP: SindCT, 2008. 48p.

FRANÇA, D. A.; FERREIRA, N. J. Considerações sobre o uso de satélites na detecção e avaliação de queimadas. **Anais... XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, INPE, p. 3017-3023, 2005.

HAIR, J. F. et al. **Análise Multivariada de Dados**. São Paulo: Artmed, 5. ed., 2005.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. Estudos e pesquisas - n. 7. Rio de Janeiro, 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro, 2011.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Banco de Dados Agregados**. 2012. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 22 out. 2012.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Vamos conhecer o Brasil. 2013. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/1HWBN>>. Acesso em: 22 nov. 2013.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. 2012. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>> Acesso em: 22 out. 2012.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Monitoramento da Cobertura Florestal da Amazônia por Satélites. São José dos Campos: INPE, 2008.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios, 2012. Disponível em <http://queimadas.cptec.inpe.br>. Acesso em: 22 out. 2012

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. El Niño e La Niña, 2013a. Disponível em <<http://www.enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em 01 mai. 2011.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Projeto PRODES: Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite, 2013b. Disponível em <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>>. Acesso em: 22 out. 2013.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Special Report on Emissions Scenarios**. Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, 2000.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment

Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007. 996 p.

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**, 4th ed., Charles Griffin: London, 1975.

LIBISELLER, C. A Program for the Computation of Multivariate and Partial Mann-Kendall Test (MULTMK/PARTMK). 2004. Disponível em: <<http://www.mai.liu.se/~cllib/welcome/PMKtest.html>> Acesso em: 22 out. 2012.

LINDNER, M. et al. **Impacts of Climate Change on European Forests and Options for Adaptation**. Report to the European Commission Directorate-General for Agriculture and Rural Development. AGRI-2007-G4-06, 2008.

LONGOBARDI, A.; VILLANI, P. Trend analysis of annual and seasonal rainfall time series in the Mediterranean area. **International Journal of Climatology**, v. 30, p.1538–1546, 2010.

MALHI, Y. et al. Climate Change, Deforestation, and the Fate of the Amazon. **Science**. v 319, p.169, 2008.

MALINGREAU, J. P.; STEPHENS, G.; FELLOWS, L. Remote Sensing of Forest Fires: Kalimantan and North Borneo in 1982-1983. **Ambio**. v. 14, n. 6, p. 314-321, 1985.

MANLY, B. F. J. **Métodos Estatísticos Multivariados: uma introdução**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 229 p.

MANN, H. B. Non-parametric test against trend. **Econometrica**, v.13, p. 245-259, 1945.

MARGULIS, S. **Causas do desmatamento na Amazônia Brasileira**. 1ª. ed. Brasília: Banco Mundial, p.100, 2003.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e regionais: avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.16, n.1, p. 01 - 18, 2001.

MARENGO, J. A. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. **Theoretical and Applied Climatology**, v.78, p. 79 - 96, 2004.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade**: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: MMA. 2a edição. Série Biodiversidade, v. 26, 2007. 212 p.

MARENDO, J. A. et al. Global Warming and Climate Change in Amazonia: Climate-Vegetation Feedback and Impacts on Water Resources. In: KELLER, M.; BUSTAMANTE, M.; GASH, J.; SILVA DIAS, P. (Editors). **Amazonia and Global Change**. Geophysical Monograph Series. American Geophysical Union, Washington, DC, 490p., p. 273-292, 2009.

MARENDO, J. A.; BETTS, R. (coordenadores). **Riscos das mudanças climáticas no Brasil**. Análise conjunta Brasil-Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia. CCST-INPE, São Paulo, Brasil, 2011.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (Organizadores); ROSA, A. N. C. S.; SANO, E. E.; SOUZA, E. B.; BAPTISTA, G. M. M.; BRITES, R. S. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. UNB/CNPq: Brasília, 2012. 266 p.

NEPSTAD, D. C. et al. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. **Nature**, v. 398, n. 6727, p. 505-508, 1999.

NEPSTAD, D. C. et al. Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: A basin-wide analysis. **Global Change Biology**. v. 10, n. 5, p. 704-712, 2004.

NEPSTAD, D. C. et al. Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point. **Phil. Trans. R. Soc. B**, v. 363, p. 1737–1746, fev. 2008.

NOBRE, C. A.; SELLERS, P.; SHUKLA, J. Amazonian deforestation and regional climate change. **Journal of Climate**, v.4, p. 957-988, 1991.

NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Mudanças climáticas e Amazônia. **Ciência e Cultura**, v.59, n.3, p. 22-27, 2007.

NOBRE, C. A. et al. Characteristics of Amazonian Climate: Main Features. In: KELLER, M.; BUSTAMANTE, M.; GASH, J.; SILVA DIAS, P. (Editors). **Amazonia and Global Change**. Geophysical Monograph Series. American Geophysical Union, Washington, DC, 490p., p. 149-162, 2009.

NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. São Paulo, **Edgard Blücher**, 4ª edição, 2010. 387p.

PETERSON, T.C. et al. **Report on the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998-2001**. WMO, Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071, Geneve, Switzerland, 143pp. 2001.

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente; OTCA - Organização do Tratado de Cooperação Amazônica. **Perspectivas do meio ambiente na Amazônia**. GEO Amazônia. 2008, 167 p.

RONCHAIL, J. et al. Interannual Rainfall Variability in the Amazon Basin and Sea-surface Temperatures in the Equatorial Pacific and the Tropical Atlantic Oceans. **International Journal of Climatology**. 22: p. 1663–1686, 2002.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Global and Regional Scale Precipitation Patterns Associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v.115, p. 1606 - 1626, ago. 1987.

SALATI, E. “Mudanças climáticas e o ciclo hidrológico na Amazônia”. In: **Causas e dinâmica do desmatamento na Amazônia**. Ministério do Meio Ambiente, p.153-172, 2001.

SANTOS, I. A.; BUCHMANN, J. Uma Revisão Qualitativa Enfatizando Aspectos Climáticos da Amazônia e da Região Nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**. v. 33, n. 2, p. 09-23, 2010.

SETZER, A. W.; SISMANOGLU, R. A. Risco de Fogo: Metodologia do Cálculo - Descrição sucinta da Versão 9. 2012. Disponível em: <http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/documentos/RiscoFogo_Sucinto.pdf> Acesso em: 01 mai. 2013.

SFB - Serviço Florestal Brasileiro. Florestas do Brasil em resumo - 2010: dados de 2005-2010. Serviço Florestal Brasileiro – Brasília: SFB, 2010. 152 p.

SOARES-FILHO, B. et al. Forest fragmentation, climate change and understory fire regimes on the Amazonian landscapes of the Xingu headwaters. **Landscape Ecol.** v. 27, p. 585–598, 2012.

SOUZA, A. P.; CASAVECCHIA, B. H.; STANGERLIN, D. M. Avaliação dos riscos de ocorrência de incêndios florestais nas regiões Norte e Noroeste da Amazônia Matogrossense. **Scientia Plena**, v. 8, n. 5, p. 01 - 14, 2012.

SOUZA FILHO, P. W. M. et al. Sensoriamento Remoto e Recursos Naturais da Amazônia. **Ciência e Cultura**. v. 58, n. 3, p. 37 - 41, jul./set. 2006.

STERNBERG, H. O. R. Man and environmental change in South America. p. 413-445. In: FITTKAU, E. J.; ELIAS, T. S.; KLINGE, H.; SCHWABE, G. H.; SIOLI, H. (eds.) **Biogeography and Ecology in South America**. v. 1, D.W. Junk & Co., A Haia, Países Baixos. 1968. 946 p.

VAL, A. L.; SANTOS, G. M. (Organizadores) **GEEA: Grupo de Estudos Estratégicos Amazônicos**. Manaus : INPA, v.1, 185 p., 2008.

VETTORAZZI, C. A. **Técnicas de geoprocessamento no monitoramento de áreas florestadas**. Série Técnica IPEF, Piracicaba, v.10, n.29, p.45 - 51, 1996.

WARD, J. H. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. **Journal of the American Statistical Association**, American Statistical Association, v.58, p. 236 - 244, mar. 1963.