

## **OS IMPACTOS DO DESMATAMENTO E QUEIMADAS DE ORIGEM ANTRÓPICA SOBRE O CLIMA DA AMAZÔNIA BRASILEIRA: UM ESTUDO DE REVISÃO**

### **THE IMPACTS OF DEFORESTATION AND BURNING OF ANTHROPOGENIC CLIMATE OF THE BRAZILIAN AMAZON: A REVIEW**

### **LOS IMPACTOS DE LA DEFORESTACIÓN Y LA QUEIMA DE ORIGEM ANTRÓPICO SOBRE EL CLIMA DE LA AMAZONIA BRASILEÑA: UNA REVISIÓN**

Thiago Oliveira Dos Santos

Universidade do Estado do Amazonas, Escola Normal Superior  
Avenida Djalma Batista, Chapada – Manaus, AM  
t.santos.720@gmail.com

Valdir Soares De Andrade Filho

Universidade do Estado do Amazonas, Escola Normal Superior  
Avenida Djalma Batista, Chapada – Manaus, AM  
Valdirsoares.vs@gmail.com

Vinícius Machado Rocha

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, INPA  
Avenida André Araújo, 2.936 Petrópolis – Manaus, AM  
vinimroch@gmail.com

Janaína de Souza Menezes

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, INPA  
Avenida André Araújo, 2.936 Petrópolis – Manaus, AM  
Janainasouza.geo@gmail.com

#### **RESUMO**

Este trabalho traz, através de uma revisão sistemática, uma perspectiva histórica sobre a evolução do conhecimento dos impactos causados pelas queimadas e desmatamento sobre o clima da Amazônia, abrangendo uma série temporal entre 1990 a 2015, com base na literatura científica nacional e internacional. A busca dos trabalhos foi realizada em duas diferentes bases de dados eletrônicas científicas: Periódico Capes/Mec e Scientific Electronic Library Online-SciELO. As buscas foram conduzidas através da utilização de descritores, em português e inglês, com base nos termos contidos nos títulos ou palavras chaves do resumo dos trabalhos. Trabalhos que estavam fora da delimitação geográfica foram excluídos. Foram identificados 779 estudos no total nas duas bases de busca na qual se selecionaram 60 estudos produzidos nacionalmente e internacionalmente, foram removidos 48 permanecendo somente os estudos relacionados diretamente com a temática. A revisão realizada permitiu analisar 12 estudos sobre os impactos do desmatamento e queimadas sobre o clima da Amazônia brasileira. Os impactos causados por ações antropogênicas como o desmatamento e as queimadas sobre o clima da Amazônia são amplamente estudados pela comunidade científica. Resultados significativos oriundos de pesquisas têm ajudado a entender o papel das partículas de aerossóis emitidas pelas queimadas durante a estação seca sobre o ecossistema amazônico. Embora os estudos sobre os impactos causados sobre o clima pelas queimadas e desmatamento tenham mostrado evolução na produção

de novos conhecimentos a cerca da interação entre biosfera-atmosfera, os possíveis efeitos climáticos das partículas de aerossóis ainda não são completamente compreendidos.

**Palavras-chave:** Amazônia; Desmatamento; Clima; Queimadas; Revisão.

### ABSTRACT

This article brings, through a systematic review, a historical perspective on the evolution of the knowledge of the impacts caused by the fires and deforestation on the climate of the Amazon, covering a time series between 1990 and 2015, based on the national and international scientific literature. The search of articles was carried out in two different scientific electronic databases: Capes/Mec Periodical and Scientific Eletronic Library Online-Scielo. The searches were conducted through the use of descriptors, in Portuguese and English, based on the terms contained in the titles or key words of the abstract of the papers. Articles that were outside the geographical boundary were excluded. A total of 779 studies were identified in the two search databases, in which 60 studies were selected, both nationally and internationally, and 48 were removed, with only the studies directly related to the subject being removed. The review made it possible to analyze 12 studies on the impacts of deforestation and burning on the Brazilian Amazonian climate. The impacts caused by anthropogenic actions such as deforestation and burning on the Amazonian climate are widely studied by the scientific community. Significant results from research have helped to understand the role of aerosol particles emitted by the burning during the dry season on the Amazonian ecosystem. Although the studies on the impacts caused on the climate by the fires and deforestation have shown evolution in the production of new knowledge about the interaction between biosphere-atmosphere, the possible climatic effects of the particles of aerosols are not yet fully understood.

**Keywords:** Amazon; Deforestation; Climate; Biomass burning; Review.

### RESUMEN

Este trabajo trae, a través de una revisión sistemática, una perspectiva histórica sobre la evolución del conocimiento de los impactos causados por las quemas y deforestación sobre el clima de la Amazonia, que abarca una serie temporal entre 1990 a 2015, con base en la literatura científica brasileña y internacional. La búsqueda de los trabajos fue realizada en dos diferentes bases de datos electrónicas científicas: periódico Capes/Mec y Scientific Eletronic Library Online-Scielo. Las búsquedas fueron conducidas a través de la utilización de descriptores, en portugués y inglés, con base en los términos contenidos en los títulos o palabras claves del resumen de los trabajos. Los trabajos que estaban fuera de la delimitación geográfica fueron excluidos. Fueron identificados 779 estudios en total en las dos bases de búsqueda en la cual, se seleccionó 60 estudios producidos nacionalmente e internacionalmente, fueron removidos 48 permaneciendo solamente los estudios relacionados directamente con la temática. La revisión realizada permite analizar dos estudios sobre los impactos de la deforestación y quemas sobre el clima de la Amazonia brasileña. Los impactos causados por las acciones antropogénicas como la deforestación y las quemas sobre el clima de la Amazonia son ampliamente estudiados por la comunidad científica, resultados significativos oriundos de las búsquedas ha ayudado a entender el papel de las partículas de aerosoles emitidas por las quemas durante la estación seca sobre el ecosistema amazónico. Aunque los estudios sobre los impactos causados sobre el clima por las quemas y la deforestación han mostrado evolución en la producción de nuevos conocimientos acerca de la interacción entre biosfera-atmósfera, los posibles efectos climáticos de las partículas de aerosoles todavía no son completamente comprendidos.

**Palabras clave:** Amazonia; Deforestación; Clima; Quemadas; Revisión.

## 1. INTRODUÇÃO

A Amazônia é a floresta mais extensa do planeta, distribuída através de uma área de aproximadamente 6,3 milhões de Km<sup>2</sup> que abrange países como Brasil, Peru, Colômbia, Equador, Venezuela, Bolívia e Guianas. A parte que abrange o território brasileiro é de cerca de 5,5 milhões de Km<sup>2</sup>, sendo conhecida como Amazônia legal ou Amazônia brasileira, os estados que compõem a Amazônia legal são: Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins além de partes dos estados do Mato Grosso e Maranhão (ARANA, 2009).

Do ponto de vista climático, a Amazônia é também pode agir como uma importante fonte de calor e vapor de água para toda atmosfera global, devido sua localização geográfica ser na região dos trópicos, o que acaba tornando possível que intensas trocas de energia entre a superfície continental e a atmosfera global aconteçam durante o ano. (CORREIA et al., 2006; DA ROCHA et al., 2009).

As mudanças no padrão do uso do solo na região amazônica, principalmente a partir de 1970, têm sido bastante intensas, causando significativas modificações no clima da região (CORREIA; ALVALÁ; MANZI, 2006; ARTAXO et al., 2009; ROCHA; CORREIA; FIALHO, 2012). O desmatamento e as queimadas são os principais causadores desses impactos, pois emitem gases traços e partículas levando a alterações negativas no ciclo hidrológico da região amazônica (SILVA DIAS, 2006; COSTA; PAULIQUEVIS, 2009), tais como: diminuição do regime de chuvas, prolongação da estação seca na região e modificações nos processos de reciclagem de precipitação.

Estudos apontam que o desmatamento na Amazônia têm como uma das principais causas, as atividades de origem antrópica como a agricultura, pecuária, somada a agricultura do tipo de corte e queima. A expansão pecuária bovina, resulta na conversão parcial da floresta em áreas de pastagens que, agregada a extração da madeira é capaz de gerar emissões na faixa de 0,6 e 0,9 (+/- 0,5) PgC.ano<sup>-1</sup>. Com base em levantamentos recentes este cenário é responsável por 15% a 35% das emissões globais média de combustíveis fósseis durante o período da década de 1990 (DEFRIES et al., 2002; RIVERO et al., 2009).

O desmatamento da floresta amazônica leva ao empobrecimento da biodiversidade na região, o ciclo hidrológico também é afetado podendo modificar drasticamente o transporte de umidade fornecido pela floresta para importantes regiões agrícolas do Brasil localizadas no sul e sudeste. Causando a supressão de chuvas não apenas em regiões brasileiras, mas em outras partes da América do Sul (FEARNSIDE, 2005).

A floresta é responsável por emitir durante a estação chuvosa partículas que atuam como NCN (Núcleo de Condensação de Nuvens) na atmosfera, controlando os mecanismos de formação de nuvens e chuvas. Durante o período da estação chuvosa, entre Dezembro a junho, as emissões do tipo natural são predominantes. Essa condição aliada ao baixo nível de poluição da atmosfera que é característico da estação chuvosa facilita a formação de nuvens e precipitações na região amazônica. O baixo nível de concentração de partículas faz com que, a disputa pelo vapor de água disponível na atmosfera seja menor, contribuindo para que, as gotas de chuva possam se desenvolver e precipitar em um curto período de tempo (ARTAXO et al., 2005; SILVA DIAS, 2006; COSTA; PAULIQUEVIS, 2009).

Durante o período da estação seca, entre julho a novembro, as emissões de origem antropogênica através das queimadas, são predominantes, levando a altas concentrações de partículas de aerossóis na atmosfera causando a supressão de precipitação e significativas modificações na microfísica das nuvens afetando o balanço de radiação na superfície (ANDREAE et al., 2004; ARTAXO et al., 2005; PAULIQUEVIS et al., 2007). O papel dessas partículas e seus impactos associados às modificações sobre o clima da Amazônia e do

planeta, ainda tem certos níveis de incertezas, isso por conta do seu complexo processo de interação com o ecossistema amazônico (COSTA; PAULIQUEVIS, 2009).

Este trabalho apresenta uma perspectiva histórica da evolução das pesquisas sobre os impactos causados pelas atividades antrópicas como o desmatamento e as queimadas, abordando as diversas modificações climáticas decorrentes da mudança no padrão de uso do solo na região.

O estudo teve como objetivo geral, identificar e quantificar as principais pesquisas relacionadas aos impactos causados pelas atividades de origem antropogênica como o desmatamento e as queimadas sobre o clima da Amazônia brasileira, por meio da análise de estudos publicados em literatura científica nacional e internacional, no período de 1990 a 2015. Buscou-se avaliar os principais resultados obtidos através da análise dos estudos sobre os impactos do uso do solo pelas atividades antrópicas e entender de que maneira o desmatamento e queimadas afetam o clima da região amazônica.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Desenho do estudo

O presente estudo trata-se de uma revisão bibliográfica sistemática em duas diferentes bases de dados eletrônicas científicas, através de descritores relacionados aos impactos do desmatamento e das queimadas de origem antrópica, sobre o clima da Amazônia brasileira. A identificação e inclusão dos estudos ocorreu durante o primeiro semestre de 2016.

### 2.2. Base de dados eletrônicas

A pesquisa bibliográfica foi executada nas seguintes bases de dados eletrônicas: Periódico CAPES/MEC e Scientific Electronic Library Online-Scielo.

As demais informações complementares foram obtidas a partir de uma busca de forma manual com base nas referências observadas e listadas nos artigos inclusos no estudo de revisão sistemática. As buscas foram conduzidas através da utilização de descritores, em português e em inglês, com base nos termos contidos nos títulos ou nas palavras chaves e resumos dos estudos.

A combinação de termos utilizados juntos ou mesmo separados, nas respectivas bases de dados (Periódicos capes/MEC e Scielo) foram:

- "Desmatamento impactos (impacts deforestation)";
- "Queimadas impactos (impacts burned)";
- "Desmatamento clima Amazônia (climate amazonia deforestation)";
- "Queimadas clima Amazônia (climate amazonia burned)";
- "Desmatamento precipitação (deforestation precipitation)";
- "Queimadas precipitação (precipitation burned)";
- "Desmatamento temperatura (temperature deforestation)";
- "Queimada temperatura (temperature burned)".

Para seleção dos artigos foi produzido um quadro com as seguintes informações a seguir: autor e ano escala geográfica de abrangência, desenho do estudo, componentes do clima analisado e principais resultados.

Foi utilizado como critério de inclusão, artigos do tipo original, publicados em

periódicos internacionais e nacionais, nos idiomas inglês e português, no período de 1990 a 2015.

Foram selecionados para participar da revisão somente os artigos que continham análise dos impactos gerados pelo desmatamento e queimadas de origem antrópica sobre o clima da Amazônia brasileira. Foram incluídos estudos que analisaram os impactos causados pela emissão de aerossóis oriundos da queima de biomassa, no processo de formação de nuvens de chuva e suas alterações na microfísica das nuvens.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Caracterizações dos estudos**

O número total de estudos identificados nas bases de dados eletrônicas Periódico CAPES/MEC e Scientific Electronic Library Online-SCIELO foram iguais a 60, incluindo estudos da literatura científica nacional e internacional. Esses estudos encontrados foram analisados na íntegra com o intuito de verificar a sua relação com o tema da revisão, ao final desta verificação, foram removidos 48 estudos, por não terem relação direta com a temática do estudo ou por estarem duplicados. Somente 12 estudos foram selecionados para esta revisão sistemática, onde, 8 estudos pertencem à literatura científica nacional e os outros 4 a internacional.

Estudos de revisão sistemática são importantes devido o seu significativo auxílio na análise de pesquisas desenvolvidas dentro de uma área específica de conhecimento. As revisões sistemáticas de boa qualidade geralmente são consideradas como o melhor grau de indicação para tomadas de decisão, facilitando desta forma, o acesso de pesquisadores que tenham a necessidade de realizar uma rápida revisão, podendo também direcionar futuras pesquisas (ARAÚJO et al., 2008).

No momento da elaboração de uma revisão sistemática o autor necessita ter o devido cuidado para não agir de maneira tendenciosa, pois, este tipo de estudo deve ter por obrigação o caráter abrangente. Sendo que os critérios utilizados possam ser divulgados, viabilizando assim, que outros pesquisadores possam fazer uso dos resultados derivados dos estudos (GALVÃO, 2014).

As características dos estudos revisados são apresentadas abaixo em forma de quadros, contendo as seguintes informações: autor/ano, escala geográfica de abrangência, desenho do estudo, elementos do clima analisados e principais resultados. Os resultados observados durante a revisão são discutidos a partir da observação individual de cada estudo incluído neste trabalho. Por fim é feita uma discussão geral sobre os impactos causados pelo desmatamento e queimadas de origem antrópica sobre o clima da Amazônia brasileira.

**Quadro 1:** Características dos estudos revisados

<b>Autor/Ano Escala geográfica de abrangência</b>	<b>Desenho do estudo Elementos analisados</b>	<b>Principais resultados</b>
Chu et al., (1994) Bacia Amazônica	Observacional Precipitação	Aumento na ocorrência de precipitação em paralelo com o desmatamento; Contrastes nas simulações numéricas; Aumento na ocorrência de precipitação relacionado ao desmatamento em pequena escala.
Gash e Nobre., (1997) Rondônia	Observacional Temperatura; Balanço de radiação; Evaporação.	Aumento no albedo com cerca de 0.13 a 0.18, gerando aumento na temperatura da superfície; Diminuição no saldo de radiação na pastagem, 11% a menos que na floresta; Evaporação reduzida durante a estação seca; Aumento no fluxo de calor sensível na pastagem.
Ferreira et al., (1998) Sudoeste da Amazônia	Observacional Precipitação	Distribuição regular da variabilidade diária de precipitação; Chovendo 28% a mais na floresta em relação à pastagem.
Andreae et al., (2004) Amazônia	Observacional Nuvens; Precipitação.	Alta concentração de aerossóis e inibição na formação de chuvas; Modificações na microfísica das nuvens; Interferência nos processos fotossintéticos da floresta; Forte presença de pironuvens na região.
Artaxo et al., (2005) Sudoeste da Amazônia	Observacional Evapotranspiração; Precipitação; Partículas de aerossóis; Nuvens.	Diminuição da evapotranspiração durante a estação seca sobre a pastagem; Diminuição das chuvas; Maior nível de precipitação em ambientes de floresta com 20% a mais que na pastagem; Intensificação dos gradientes horizontais de temperatura.

**Quadro 1:** Características dos estudos revisados (continuação)

<b>Autor/Ano</b>	<b>Desenho do estudo Elementos analisados</b>	<b>Principais resultados</b>
Fearnside, (2006) Amazônia	Observacional Biodiversidade; Evapotranspiração; Emissão de gases de efeito estufa; Precipitação; Ciclo hidrológico.	Perda irreparável da biodiversidade pelo desmatamento; Diminuição da evapotranspiração em áreas de pastagens; Diminuição na evaporação; Baixa ocorrência de chuvas; Alterações negativas no ciclo hidrológico.
Pauliquevis et al., (2007) Amazônia	Observacional Precipitação; Nuvens; Balanço de radiação; Partículas de aerossóis.	Absorção e espalhamento de radiação devido à alta concentração de partículas na atmosfera; Alteração na composição química da chuva; Ineficiência na formação de nuvens de chuvas; ocorrência de pironuvens.
Tavares, (2008) Amazônia	Revisão Precipitação; Nuvens.	Impactos negativos causados pela concentração de partículas de aerossóis na atmosfera sobre a formação de nuvens de chuvas e reciclagem de nutrientes.
Longo et al., (2009) Amazônia	Revisão Nuvens; Precipitação; Balanço de radiação.	Nuvens quentes de baixo nível durante a estação chuvosa; Atmosfera livre de poluição apresentando concentração de NCN na faixa de 200 cm <sup>-3</sup> a 1% de supersaturação; Regiões afetadas por atividades antrópicas os níveis chegam a 10.000 cm <sup>-3</sup> ; Supressão de chuvas e alteração nos mecanismos de formação de nuvens.
Rocha et al., (2012) Bacia Amazônica	Modelagem Numérica Temperatura da Superfície; Balanço de Umidade.	Observou-se mudanças climáticas regionais significativas no balanço de energia, água e temperatura na estação chuvosa; Temperaturas observadas na porção central leste da bacia entre (5,0°C e 7,0°C). G.E.E identificado como principal agente modificador da temperatura na bacia em 3,4°C; Alteração na convergência de umidade em escala regional; Redução de 30% das chuvas sobre a bacia.

**Quadro 1:** Características dos estudos revisados (continuação)

<b>Autor/Ano</b>	<b>Desenho do estudo Elementos analisados</b>	<b>Principais resultados</b>
Artaxo et al., (2013) Amazônia	Observacional Partículas de aerossóis; Composição química das chuvas; Nuvens; Balanço de radiação.	Alteração no equilíbrio de absorção de carbono pela floresta; Modificação da composição química da atmosfera durante a estação seca; Supressão de precipitação; Aumento da radiação difusa; Modificação da microfísica de nuvens na região; Modificação no saldo de radiação da superfície.
Rocha et al., (2015) Amazônia	Revisão Umidade; Precipitação; Ciclo Hidrológico.	Foi identificado que 70% da chuva que cai sobre a bacia amazônica é proveniente do oceano atlântico, os outros 30% é produzido através da reciclagem de precipitação realizada pela floresta amazônica.

### 3.2 OS IMPACTOS DAS QUEIMADAS E DO DESMATAMENTO SOBRE O CLIMA DA AMAZÔNIA: PRINCIPAIS RESULTADOS OBSERVADOS NOS ESTUDOS

Chu et al., (1994) tiveram como objetivo detectar as mudanças climáticas na bacia da Amazônia, onde essas mudanças foram ocasionadas em decorrência dos impactos causados pelo desmatamento. Através de análises estatísticas foi detectado alterações no padrão de precipitação da região amazônica.

Os autores utilizaram dois métodos estatísticos para encontrar a tendência mensal de precipitação, visando quantificar a direção e a magnitude das ocorrências de precipitações. Os métodos utilizados pelos autores foram, técnicas convencionais de quadrados mínimos para estimar a inclinação da tendência mensal de precipitação e o método da classificação de Mann Kendall sendo considerado como o teste mais apropriado para a análise que envolvem mudanças climáticas em series climatológicas, permitindo também a detecção e localização aproximada do ponto inicial de determinada tendência.

A precipitação de Belém e Manaus exibiram tendências lineares com valores anuais de + 2.0 e + 0.9 mm respectivamente, já a demonstração estatística de Mann-Kendall para Belém e Manaus foi de + 0.04 e 0.07 mm indicando uma tendência ascendente, embora o nível de significância de 5% não tenha sido alcançado. As análises sugeriram um ligeiro aumento na convecção tropical (chuva) sobre grande parte da Amazônia em paralelo com o desmatamento. Os resultados obtidos no estudo apresentaram alguns contrastes em relação a algumas simulações realizadas no GMC (General Circulation Model) demonstrando algumas limitações dos modelos utilizados para simulação durante a pesquisa.

Os autores concluíram que houve um pequeno aumento na convecção na maior parte da bacia, com alterações estatisticamente significativas no oeste da Amazônia e ao longo da encosta oriental dos Andes (sul da Colômbia, Equador e nordeste do Peru), foi possível



perceber poucos indícios sobre a possível ligação do aumento na ocorrência de precipitação com o desmatamento, porém foi observado a contribuição do aumento na convecção sobre a ocorrência de precipitação na bacia amazônica.

Gash e Nobre, (1997) analisaram medições climatológicas através de estações meteorológicas, em condições específicas, onde a umidade do solo e as demais variáveis envolvidas na pesquisa eram frequentemente monitoradas em intervalos semanais, fazendo uso de sondas de nêutrons. O estudo fez parte do projeto (Anglo Brazilian Amazonian Climate Observational Study) ABRACOS.

As campanhas realizadas durante a pesquisa ocorreram em três sítios pertencentes ao ABRACOS: a fazenda Dimona localizada nos limites do município de Manaus durante os anos de 1990 a 1991; em seguida, nos anos de 1992 e 1993 na fazenda Nossa Senhora localizada próximo a Ji-Paraná Rondônia e por último uma curta campanha realizada em Marabá no ano de 1993.

O estudo apontou que os efeitos do desmatamento foram mais perceptíveis em escala local, onde o mesmo produziu um aumento significativo no albedo da pastagem em cerca de 0.13 a 0.18 contribuindo para o aumento na temperatura da superfície. O estudo evidenciou que existe uma diminuição do saldo de radiação recebido pela pastagem sendo em média 11% a menos quando comparado ao ambiente de floresta.

As observações realizadas em escala local apontaram que o desmatamento, produziu uma mudança imediata na superfície. A evaporação foi reduzida e o aumento do fluxo de calor sensível na pastagem teve um forte efeito, gerando altas temperaturas durante o dia. Em contra partida através de observações de radio sondagem foi detectado que as escalas com mais de 50 km, estabeleceram uma relação com a camada limite convectiva que corresponde às circulações de meso-escala, gerando contrastes na radiação incidente junto com a nebulosidade.

O estudo conclui que, a modelagem unificada com as medições podem melhorar a compreensão sobre os resultados obtidos através de estudos realizados a respeito dos danos causados pelos efeitos da substituição da floresta pela pastagem sobre o clima.

Ferreira et al., (1998) avaliaram a distribuição horária da precipitação, durante a estação chuvosa, em áreas de floresta e pastagem na região sudoeste da Amazônia. Foi analisada a variabilidade diária da precipitação juntamente com as alterações decorrentes do desmatamento sobre o regime pluviométrico. O estudo foi desenvolvido durante a série temporal de 1990 a 1995.

Cada um desses sítios era composto por duas áreas distintas, onde uma possuía vegetação primária, com floresta de grande porte, e outra com vegetação de pastagem. Nas áreas de floresta foram instaladas torres micro meteorológicas com uma altura de 52 metros, ultrapassando o topo do dossel da vegetação, enquanto que as áreas de pastagens receberam torres semelhantes, porém com apenas cinco metros de altura. Em todos os pontos de pesquisas foram colocadas Estações Climatológicas Automáticas também conhecidas como (ECAS) idênticas, tanto na floresta como na área de pastagem.

Durante o estudo foram analisados 291 dias com informações em ambos os sítios, representando 81% dos dados possíveis. Os valores totais de precipitação para o período disponível indicaram que o ano de 1990 foi o de menor volume, com 1693,7mm, 14,4% abaixo da média anual, de 1977,7mm. Com relação à variabilidade diária de precipitação, observou-se que na área de pastagem, ocorreu uma distribuição com pouca diferença entre os horários sendo que a maior frequência de ocorrência foi às 14:00 (hora local), com 6,7% dos casos, e a menor às 11:00 com 2,2%. O horário de menor frequência representou cerca de 1/3 do horário de maior frequência.

Já para floresta a distribuição mostrou-se mais regular que no ambiente de pastagem,

às 16:00 ocorreu a maior frequência de precipitação (5,7%), enquanto o menor índice (2,9%) foi registrado às 10, 11 e 23:00. Do total de eventos de precipitação ocorridos na região, 14% foram precipitações de forte intensidade, ou seja, maiores que 100 mm/h, tanto na floresta como na pastagem.

Desta forma foi possível observar que no sudoeste da Amazônia brasileira, a variabilidade diária de precipitação apresenta uma distribuição bastante regular quando se trata de eventos superiores a 1 mm h<sup>-1</sup>, tanto na floresta como na pastagem. Os autores concluíram que o desmatamento pode causar uma drástica diminuição na ocorrência de precipitação na região afetada pela substituição da floresta pela pastagem, através da verificação dos resultados obtidos pelo estudo, o ambiente florestado apresentou 28% a mais em relação à ocorrência de chuvas quando comparado ao ambiente de pastagem.

Andreae et al., (2004) analisaram as influências exercidas pelos aerossóis emitidos através da queima de vegetação sobre o processo de formação de nuvens. Essas alterações são capazes de modificar o tamanho da gota de nuvem, gerando o retardamento no desenvolvimento de chuvas. Através da análise da microfísica de nuvens este estudo buscou identificar os principais impactos causados por atividades antrópicas como as queimadas no período da estação seca sobre o sistema climático amazônico.

Foram apresentados quatro cenários, que vão desde uma atmosfera relativamente limpa até a mais poluída gerando condições adversas na dinâmica climática da região amazônica. Os cenários apresentados foram: oceano azul com baixa concentração de NCN (núcleos de condensação de nuvens) de origem antropogênica; oceano verde que está relacionado à atmosfera limpa da Amazônia durante o período da estação chuvosa; o terceiro trata-se de um cenário onde as nuvens e seus processos de formação são fortemente afetados pelas fumaças decorrentes da queima de vegetação; o quarto e último cenário envolve uma atmosfera com uma alta população de piro nuvens que são nuvens que sofrem influência direta da fumaça e do calor dos incêndios florestais que ocorrem durante a estação seca na região amazônica.

O estudo concluiu que, os aerossóis tem influência direta no processo de formação de nuvens de chuvas, podendo atuar como NCN na atmosfera, onde sua alta concentração pode levar a efeitos climáticos indesejáveis. Essas partículas e seus efeitos têm sido amplamente estudados pelo LBA, com o intuito de gerar conhecimento científico para o melhor entendimento do papel exercido por essas partículas sobre o ecossistema amazônico e consequentemente a sua influência sobre o clima da Amazônia.

Artaxo et al., (2005) analisaram os processos naturais que regulam a composição da atmosfera amazônica com o objetivo de tornar possível, a criação de novas estratégias de desenvolvimento sustentável para a região amazônica. Foi observado que as grandes emissões de partículas e gases oriundos de queimadas durante o período da estação seca modificam profundamente a composição química da atmosfera na Amazônia, produzindo fortes impactos na dinâmica climática da região.

O estudo aponta para a necessidade de um melhor entendimento sobre o papel das partículas de aerossóis emitidas naturalmente na regulação dos mecanismos de produção de nuvens e do balanço radiativo atmosférico, onde, durante a estação chuvosa, época em que predomina as emissões naturais, o nível de concentração das partículas de aerossóis é da ordem de 10 a 15  $\mu\text{g m}^{-3}$  com uma concentração em termos numéricos na ordem de 100 a 300 partículas  $\text{cm}^{-3}$ . Já durante a estação seca devido à ocorrência de queimadas, o nível de concentração cresce exponencialmente, podendo atingir valores em torno de 300 a 600  $\mu\text{g m}^{-3}$ , enquanto que, os números de partículas podem atingir a faixa dos 15.000 a 30.000 partículas  $\text{cm}^{-3}$ .

O papel das partículas de aerossóis como NCN na Amazônia, também foi observada,

cerca de 60 a 80% das partículas de aerossol atuam como NCN, as diferenças na concentração que existe entre a estação seca e a estação chuvosa gira em torno de (200 para 20.000 partículas  $\text{cm}^{-3}$ ) essas concentrações são capazes de modificar intensamente a microfísica de nuvens sobre a região.

O estudo destaca uma importante consequência do desmatamento na Amazônia, que se manifesta através do ciclo biogeoquímico do nitrogênio, onde a conversão de floresta primária para o ambiente de pastagem tem induzido a um rápido declínio da produtividade do solo junto às mudanças nos fluxos de gases traços, como por exemplo: o óxido de nitrogênio, acarretando significativas mudanças no ciclo do nitrogênio no solo, comprometendo a produtividade agrícola.

Desta forma foi possível concluir que, as partículas de aerossóis emitidas pelas queimadas podem alterar profundamente a composição atmosférica da Amazônia e conseqüentemente a microfísica das nuvens. As concentrações de partículas de aerossóis mostraram-se maiores no período seco e menores durante o período chuvoso da região, apontando para as mudanças climáticas causadas por essas altas concentrações de partículas na Amazônia.

Fearnside, (2006) abordou as dinâmicas envolvidas por trás do desmatamento na Amazônia juntamente com os impactos e as possíveis medidas mitigadoras de controle desta atividade. O estudo aponta a forte ligação existente entre a saúde econômica do país com os índices de desmatamento na Amazônia brasileira.

O autor aponta para a importância do uso sustentável da floresta. Os impactos causados pelo desmatamento atingem diversos compartimentos da natureza, diante deste cenário o "uso sustentável" da floresta é colocado como alternativa de medida mitigadora visando à utilização dos serviços ambientais fornecidos pela floresta como forma de manter a floresta em pé sem perdas econômicas significativas. Os serviços ambientais sugeridos pelo estudo vão desde a produção de mercadorias tradicionais por manejo florestal até a extração de produtos não madeireiros.

A ciclagem de água é uma função ambiental importante para todas as regiões do Brasil, devido aos elevados índices de desmatamento o transporte de umidade é gravemente afetado causando diminuição na ocorrência de precipitações no sul e sudeste do país, a porção não amazônica do Brasil tem registrado nas últimas décadas blecautes e racionamento de eletricidade devido à falta de água em reservatórios em decorrência da diminuição das chuvas.

O armazenamento do carbono pela floresta ou o sequestro do mesmo, representa um importante serviço ambiental realizado pela floresta. A conversão da floresta em pastagem ajuda a liberar o carbono armazenado nas árvores a centenas de anos, a emissão de carbono por unidade de área de desmatamento é maior que o dobro da quantidade calculada pelo inventário nacional brasileiro de emissões de gases de efeito estufa.

O autor conclui que, parte do processo de desmatamento esta fora de controle do governo, o estado pode e deve exercer uma influencia positiva sobre o problema do desmatamento na Amazônia auxiliando na diminuição das taxas de desmatamento, porém, é preciso deixar de lado a aplicação simbólica das legislações existentes e criar políticas de repressão mais serias e firmes, com a real intenção de controlar este grave problema ambiental a fim de evitar, os efeitos negativos sobre o ecossistema amazônico.

Pauliquevis et al., (2007) analisaram o papel das partículas de aerossóis no funcionamento do ecossistema amazônico. Os autores destacaram os impactos causados pelas altas concentrações de partículas de aerossóis emitidas por queimadas sobre o clima, de diversas formas como, por exemplo: atuando na absorção e espalhamento de radiação solar, na formação de nuvens, na reciclagem de nutrientes em ecossistemas, na composição química da precipitação (chuva acida) assim como, na saúde das pessoas.

O estudo aponta que, as altas concentrações de partículas de aerossóis, durante o período da estação seca, influenciam diretamente no clima local. Com o intenso processo de ocupação humana aliada a conversão da floresta primária em pastagens para fins agrícolas, a alteração da composição atmosférica da Amazônia, tem gerando fortes reflexos sobre o clima em escala local e regional. Os impactos causados pelas queimadas de origem antropogênicas, alteram a formação de nuvens através da atenuação de radiação que chega a superfície modificando, os processos fotossintéticos dos organismos vegetais. Observou-se que boa parte da precipitação na Amazônia é proveniente de nuvens convectivas, ou seja, nuvens formadas localmente, a partir do aquecimento da superfície, o que produz a ascensão de massas de ar que podem gerar a formação de nuvens. Foi observado que caso a quantidade de radiação incidente na superfície fique cada vez menor, a convecção também será, uma vez que a energia para iniciá-la é muitas vezes insuficiente para viabilizar a formação de nuvens.

Os autores concluíram que, as modificações do uso do solo em decorrência do intenso processo de ocupação humana na Amazônia, estão modificando os processos de interação entre a biosfera-atmosfera, causando impactos sobre o compartimento climático amazônico, afetando diretamente o ciclo hidrológico em varias escalas, levando a inibição da formação de precipitação sobre importantes regiões agrícolas do Brasil.

Tavares, (2008) revisou pesquisas científicas desenvolvidas sobre o tema "interação vegetação atmosfera" e os impactos causados pela substituição da floresta pela pastagem. O estudo inicia abordando sobre as plantas e seus processos fisiológicos que emitem compostos orgânicos voláteis também conhecidos como COVs, que agem como terpenos, para a atmosfera, na Amazônia uma significativa fração de carbono emitido da biosfera para atmosfera é transportado na forma de COVs.

Com base em observações o autor afirma que na Amazônia, as chuvas são provocadas por dois tipos de nuvens, as rasas e as profundas, no período seco que é caracterizado pela alta poluição devido o surgimento de inúmeros focos de queimadas, as chuvas de nuvens rasas somem e apenas chuvas originadas por nuvens profundas são observadas, com ocorrência de trovoes e relâmpagos. O balanço de água na bacia central da Amazônia indica que mais da metade da água que cai como chuva, retorna para atmosfera através do processo de evapotranspiração, enquanto que 45% é drenada pelos rios. O desmatamento interfere diretamente nesse processo, gerando impactos negativos na ciclagem de água da bacia amazônica através da diminuição dos níveis de evapotranspiração.

O estudo conclui destacando a atuação dos processos entre a biosfera-atmosfera como um dos mecanismos reguladores do clima na Amazônia, contribuindo para sazonalidade nas ocorrências de precipitação em diferentes regiões da Amazônia e até mesmo do continente.

Longo et al., (2009) apresentaram uma revisão com base nos conhecimento adquirido durante os anos de pesquisa do Programa Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia sobre as emissões de material particulado para a atmosfera provenientes da queima de vegetação na região Amazônica, aliado ao transporte atmosférico de fumaça e seus impactos na composição química da atmosfera sobre o clima, tanto em escala regional quanto global.

Os autores sugerem que a supressão de uma nuvem é intensificada por um efeito chamado "queima de nuvem" de partículas de aerossóis absorventes, que estão localizadas dentro do ar da nuvem, fazendo com que se evaporem mesmo depois de formadas. As mudanças nas propriedades microfísicas das nuvens relatadas no estudo, podem levar à redução da ocorrência de precipitação em nuvens rasas ou nuvens quentes. Essa inibição precoce de chuva da parte "quente" das nuvens acaba tornando possível que, uma maior quantidade de vapor d'água disponível, alcance o nível de resfriamento, onde a maior

quantidade de água pode se condensar, isso devido à temperatura de condensação ser mais baixa. Esses efeitos acabam resultando em um fortalecimento das dinâmicas envolvendo as nuvens gerando um aumento na ocorrência de precipitação. Mesmo em níveis de concentrações maiores, foi observado que, a formação de precipitação sofre interferências mesmo em nuvens do tipo "frias" e o efeito radiativo de esfriamento dos aerossóis, acaba reduzindo a energia disponível para o surgimento da convecção. Desta forma, a recuperação da convecção e da precipitação através dos aerossóis tem um máximo de concentrações de aerossóis intermediárias, que esta na faixa dos 1.000 a 3.000  $\text{cm}^{-3}$ .

Os autores concluíram que, o transporte de fumaça é capaz de atingir longas distâncias, propagando os impactos causados pela queima de biomassa para regiões remotas e distantes de sua origem, aumentando os níveis de concentração de partículas de aerossóis que atuam como NCN na atmosfera, modificando assim a microfísica das nuvens, que por sua vez leva a supressão de precipitação tanto em escala local como regional.

Rocha et al., (2012) apresentaram resultados de um experimento de modelagem numérica do clima utilizando o modelo de área limitada GEMBRAMS\_ Brazilian Regional Atmospheric Modeling System acoplado ao modelo vegetação dinâmica General Energy and Mass Transport Model.

As simulações numéricas realizadas durante o estudo foram feitas no BRAMS e acoplada ao esquema de vegetação dinâmica-GEMTM utilizando dois cenários de uso da terra para a Amazônia. O primeiro foi o cenário atual de desmatamento, referente ao ano de 2000 e o segundo cenário, foi para o ano de 2050. No cenário atual de desmatamento considerou-se o mapa de vegetação elaborado pelo projeto PROVEG. O cenário de desmatamento referente ao ano de 2050 foi elaborado a partir do arcabouço do programa de modelagem ambiental Dinâmica EGO, elaborado pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Foi possível observar mudanças climáticas regionais, onde as mais significativas foram no balanço de energia, água e na temperatura da superfície durante a estação chuvosa. Apresentando aumento na temperatura da superfície em todo o continente, com valores intensos entre 5,0°C e 7,0°C na Amazônia principalmente na porção central-leste da bacia, o desmatamento foi apontado junto com as emissões de G.E. E (Gases de Efeito Estufa) como o principal contribuinte para o aumento da temperatura na bacia amazônica em 3,4°C.

Um mecanismo de retroalimentação positivo foi notado, causando alterações na circulação regional (convergência de umidade) e na evapotranspiração contribuindo para uma redução de cerca de 30% na precipitação sobre a bacia.

Os autores concluíram que a mudança no uso do solo seja ela em pequena ou larga escala, é prejudicial ao clima da Amazônia, pois é capaz de gerar diversos impactos negativos, dentre eles estão: alteração nos níveis de temperatura da superfície, mudanças negativas nos índices pluviométricos e no balanço de radiação.

Artaxo et al., (2013) analisaram os efeitos da mudança no padrão de uso do solo através da amostragem e rastreamento dos gases de efeitos estufa e partículas de aerossóis durante quatro anos (2009-2012) de análises contínuas em áreas de floresta preservadas e sobre áreas impactadas pelo desmatamento e queima de biomassa no sudoeste da Amazônia.

Os autores observaram altas concentrações de Black Carbon oriundo da queima de biomassa durante a estação seca e as variações sazonais de precipitação em virtude dos altos níveis de concentração de aerossóis provenientes de queimadas. A diminuição nas taxas de deposição de aerossóis durante a estação seca se mostraram como um fator preponderante para a mudança nas propriedades atmosféricas na região amazônica, afetando diretamente a microfísica de nuvens na região.

O estudo conclui que, o transporte de material particulado é eficiente e capaz de expandir os efeitos negativos causados pelas queimadas até regiões remotas, o que acaba

criando um cenário preocupante que necessita cada vez mais da criação de medidas mitigadoras, para controlar as atividades antrópicas realizadas na Amazônia brasileira em busca de preservar de maneira sustentável esse importante ecossistema.

Rocha et al., (2015) analisaram uma perspectiva histórica sobre a evolução do conhecimento de reciclagem de precipitação, abordando os mecanismos de retroalimentação envolvidos nesses processos além de fornecer uma visão crítica do estado da arte atual. Foram retratadas as principais características do clima na Amazônia principais fontes de umidade para a precipitação regional, assim como o transporte de vapor d água sobre a América do sul.

O estudo aponta que a umidade fornecida a partir do processo de evapotranspiração na Amazônia é transportada pelos ventos predominantes, e a precipitação decorrente da evapotranspiração aumenta de nordeste para sudoeste na região da bacia.

Os autores ressaltam que estudos observacionais e de experimentos numéricos tem indicado que, a evapotranspiração da superfície tem dois possíveis efeitos, sendo um deles o fato de que a evapotranspiração pode aumentar a umidade atmosférica, o que leva à ocorrência de mais precipitação. O segundo efeito é de que, a evapotranspiração pode alterar a termodinâmica da coluna vertical de água favorecendo a ocorrência de precipitações no futuro.

Desta forma, é possível concluir que, a mudança no uso da terra na Amazônia, através do desmatamento, leva a uma redução nos níveis de evapotranspiração e consequentemente na reciclagem de precipitação e transporte de umidade para outras regiões do Brasil e da América do sul. A valorização da floresta em pé, aliada às estratégias de fornecimento de serviços ambientais, devem ser pensada com urgência pelo governo. A criação de políticas públicas que visem à proteção e valorização da floresta amazônica não trará benefícios apenas para Amazônia, mas sim, para todo o planeta, uma vez que, o sistema climático global sofre grande influência da floresta amazônica.

### **3.3 OS IMPACTOS CAUSADOS PELO DESMATAMENTO E QUEIMADAS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA: DISCUSSÃO GERAL**

#### **3.3.1 Desmatamento**

A maioria dos resultados obtidos através dos estudos sobre os impactos causados pelo desmatamento e queimadas de origem antrópica sobre o clima da Amazônia tem convergido para conclusões semelhantes. Esses resultados indicam que essas atividades antrópicas exercem uma influência negativa sobre o clima da região. A perda irreversível da grande biodiversidade existente na região amazônica aliada aos possíveis impactos climáticos são os maiores e mais preocupantes impactos causados pelo desmatamento da Amazônia.

A realização desta revisão sistemática permitiu analisar as pesquisas desenvolvidas sobre as mudanças de padrão do uso do solo e seus impactos sobre o clima da Amazônia brasileira dentro de uma série temporal de 1990 até 2015, analisando publicações tanto da literatura científica nacional como internacional. Foi possível observar que o numero de pesquisas que abordam apenas questões ligadas aos impactos causados pelo desmatamento sobre o clima da Amazônia, é bem menor quando comparado com os números de trabalhos que unem as duas vertentes e seus efeitos sobre o clima da Amazônia.

O problema do desmatamento na Amazônia tem uma forte conexão com a ocorrência das queimadas, o que justifica o baixo número de estudos abordando somente uma das vertentes. O presente trabalho buscou de maneira integrada, discutir nessa seção as duas

vertentes, separando-as somente quando necessário.

Segundo Fearnside (2005); os impactos causados pelo desmatamento vão desde a, perda de produtividade agrícola, mudanças no regime hidrológico, perda de biodiversidade e emissões de gases de efeito estufa. A compactação aliada à erosão do solo leva à escassez de nutrientes. Conforme a perda da produtividade agrícola aumenta, os produtores buscam novas alternativas de cultivo que se adaptem a atual disponibilidade de nutrientes presentes no solo impactado pelo desmatamento. O desmatamento destrói toda e qualquer possibilidade do uso da floresta para o fornecimento de serviços ambientais, já que as opções de manejo florestal sustentável para recursos madeireiros e farmacológicos são inviabilizados pela ação do desmatamento.

O ciclo hidrológico é fortemente impactado pelo desmatamento, levando a alteração do transporte de umidade para as regiões sul e sudeste do Brasil através dos jatos de baixos níveis. Essas modificações são capazes de causar impactos na ciclagem de água e da precipitação, fazendo com que durante a época de transição da estação seca para chuvosa, que ocorre durante os meses de setembro a outubro na Amazônia, ocorra à interrupção parcial do transporte de umidade para importantes regiões agrícolas do país, como ocorre no estado São Paulo, levando à prolongação da estação seca na região (CORREIA et al., 2007).

Alguns dos estudos analisados durante o desenvolvimento deste trabalho sugerem que, o desmatamento pode gerar o aumento da ocorrência de precipitação, através da criação de correntes de ar ascendentes convectivas. Esse fenômeno só teria possibilidades de ocorrer enquanto o desmatamento não tiver atingido grandes áreas (CHU et al., 1994; GASH; NOBRE, 1997; SILVA DIAS; COHEN; GANDU, 2005).

As células convectivas que se formam sobre as áreas desflorestadas transportam o ar úmido para cima, induzindo a ocorrência de chuvas, criando uma forte descida de ar sobre as áreas adjacentes da floresta, levando o ar seco para baixo, inibindo a ocorrência de precipitação e impactando as florestas próximas às extremidades das áreas desmatadas (FEARNSIDE, 2005).

O desmatamento gera a emissão de gases de efeito estufa como o CO<sub>2</sub> que ficam armazenados nas árvores, parte deste carbono armazenado é lançado na atmosfera através do desmatamento e reabsorvido pelas florestas secundárias após o crescimento da mesma, porém, este tipo de vegetação não é tão eficiente na absorção de gases como, metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Esse cenário é parte integrante da dinâmica que envolve o problema do aquecimento global, uma vez que, a intensificação de fenômenos como o efeito estufa leva ao aumento da temperatura em escala global (ARTAXO et al., 2005; SILVA DIAS, 2006).

Segundo Nobre et al., (1991) a conversão da floresta em pastagem leva a significativas alterações nas dinâmicas envolvidas entre a biosfera-atmosfera. Essas alterações podem gerar efeitos climáticos indesejáveis podendo causar impactos que ocorram em escala local e regional.

As análises dos resultados obtidos pelos estudos selecionados para esta revisão apontaram para profundas mudanças nos processos envolvendo a vegetação, evidenciando a sensibilidade aos impactos causados pelo desmatamento. Parte desses impactos causados pelo desmatamento é a redução da evapotranspiração e umidade no ambiente de pastagem em relação à floresta durante o período da estação seca. Esse impacto tem relação direta com o papel da vegetação sobre o clima. A diminuição na evapotranspiração ocorre devido a menor profundidade das raízes das gramíneas em relação ao ambiente florestado (CORREIA; ALVALÁ; MANZI, 2006).

Desta forma, o estoque armazenado de água disponível para o processo de transpiração da vegetação é muito menor na pastagem do que na floresta, mesmo com um maior nível de refletividade da radiação solar pela pastagem. No ambiente de pastagem, os

gradientes de pressão e temperatura sofrem significativas mudanças, causando o aumento no fluxo de calor sensível e a diminuição do fluxo de calor latente, devido à ausência de vegetação. Essa dinâmica leva a um súbito aumento na temperatura da superfície, fazendo com que a pastagem tenha níveis de temperatura muito maiores que os níveis registrados em ambientes de floresta (CORREIA et al., 2007).

Os impactos gerados pela diminuição da evapotranspiração em ambientes de pastagem levam a modificações no regime pluviométrico da região. As regiões que se caracterizam por serem impactadas pela ação antrópica sobre suas florestas, tendem a sofrer com mudanças significativas na ocorrência de chuvas. Segundo Nobre et al., (1991) uma severa conversão da floresta em pastagem, poderia levar a uma forte redução na ocorrência de chuvas, apoiando-se no fato de que o balanço local de vapor d água é mantido em torno de 50% pela evapotranspiração local.

Todavia, estudos envolvendo simulações numéricas de alta resolução espacial têm indicado que o efeito causado por um desflorestamento regional seria, um aumento na ocorrência de precipitação, devido à intensificação da circulação de meso-escala (SILVA DIAS; COHEN; GANDÚ, 2005).

Durante muitos anos, o papel exercido pela floresta secundária na absorção de gases de efeito estufa foi cercado por incertezas relacionadas ao seu real potencial na absorção desses gases, assim como, seu potencial de biodiversidade quando comparada a floresta primária. A floresta secundária surge após o desmatamento em locais abandonados após sua utilização para a agricultura. Um estudo realizado por um consórcio internacional de cientistas publicou no prestigiado periódico Nature, uma análise feita sobre o padrão de crescimento deste tipo de vegetação (POORTER et al., 2016).

O estudo afirma que, as florestas secundárias tem uma grande importância para a regulação do clima na América latina, com potencial de recuperação de 90% da biomassa perdida durante o desmatamento em um tempo estimado de aproximadamente 66 anos em média, porém leva mais 70 anos em média para a recuperação de apenas 35% das espécies de árvores nativas, logo, mesmo diante desta descoberta que ajudou a retirar parte das incertezas que pairavam sobre esse tipo de vegetação, o ideal ainda continua sendo a preservação da floresta primária, visto que do ponto de vista ambiental o tempo de recuperação da floresta secundária é longo demais (POORTER et al., 2016).

Desta forma é possível observar os diversos malefícios causados pelo desmatamento tanto para o clima como em outros compartimentos do ecossistema amazônico. A conversão da floresta em pastagem diminui a evapotranspiração o que reduz os níveis de vapor de água disponível na atmosfera ocasionando a inibição da formação de precipitação, afetando regiões distantes do foco de origem do desmatamento. Esses efeitos podem ser intensificados em anos de El Niño, tornando as consequências catastróficas ao meio ambiente (ARTAXO et al., 2006; CORREIA; ALVALÁ; MANZI, 2006; D'ALMEIDA et al., 2007).

Com base na análise dos estudos, ficou evidente o importante papel e a sensibilidade da floresta amazônica frente às ações antrópicas como o desmatamento. Essas mudanças no padrão de uso podem causar impactos negativos sobre o ciclo hidrológico regional, reciclagem de precipitação, transporte de umidade e evapotranspiração, gerando mudanças climáticas em escala local e regional, afetando regiões distantes que dependem diretamente do fornecimento de "serviços ecossistêmicos" proporcionados pela floresta amazônica. (NOBRE et al., 1999; ARTAXO et al., 2005; SILVA DIAS, 2006).



### 3.3.2 Queimadas

As queimadas de origem antrópica assolam a Amazônia todos os anos durante o período da estação seca na região. Estados que fazem parte do arco do desmatamento como, Roraima e Rondônia sofrem com a constante ocorrência de queimadas de origem antropogênica durante a estação seca da região.

Segundo Longo et al., (2009) com a ajuda do transporte à longa distancia, os efeitos da queima de vegetação se espalham por diversas regiões Amazônia adentro, podendo chegar aos grandes centros urbanos como a cidade de Manaus, causando o aumento da ocorrência de doenças respiratórias na população da cidade.

Durante a realização desta revisão foi possível identificar que, os impactos das queimadas de origem antrópica sobre o clima da Amazônia são preocupantes. Os resultados dos estudos convergem para uma possível alteração na composição química da atmosfera amazônica gerando efeitos climáticos indesejáveis. Esta seção buscou apresentar as discussões relacionadas aos impactos causados ao clima da Amazônia brasileira.

As queimadas de floresta primária e de pastagem geram fortes emissões de gases traços e partículas de aerossóis para atmosfera. Além das emissões de origem antropogênica a floresta amazônica é responsável pelas emissões naturais de gases traços, partículas de aerossóis e vapor de água (ARANA, 2009).

Os estudos revisados apontam que o papel desempenhado pelos aerossóis provenientes de queimadas e seus impactos sobre o clima ainda é cercado de algumas incertezas que tendem a ser sanadas com o desenvolvimento de pesquisas na área de química da atmosfera, como a que ocorre no âmbito do LBA, que tem como objetivo entender o papel dessas partículas em possíveis modificações no sistema climático da Amazônia (PAULIQUEVIS et al., 2007; COSTA; PAULIQUEVIS, 2009).

Segundo Pauliquevis et al., (2007) a alta concentração de aerossóis atmosféricos é capaz de gerar profundas mudanças na composição química da atmosfera, possibilitando a alteração das propriedades ópticas das nuvens impactando os processos envolvidos na formação de chuvas.

As queimadas são responsáveis pelas emissões de partículas de aerossóis na atmosfera. Os NCN são imprescindíveis para a formação de chuvas e nuvens, a maior parte das partículas que atuam como núcleos de condensação de nuvens na atmosfera são emitidas de maneira biogênica pela própria floresta amazônica, porém, quando essas partículas são emitidas através de queimadas, a sua alta concentração pode levar a inibição da formação de precipitação e modificação da microfísica das nuvens (ARTAXO et al., 2005; SILVA DIAS, 2006; TAVARES, 2008).

Os estudos apontam para dois tipos predominantes de emissões na Amazônia onde, durante o período da estação chuvosa predominam as emissões de origem biogênica com o fornecimento de NCN para atmosfera. Já no período da estação seca as ocorrências de queimadas aumentam e conseqüentemente as emissões de partículas de aerossóis de origem antropogênicas predominam, levando a uma diferença na concentração desse material particulado presente na atmosfera. A diferença da estação chuvosa para a seca é de 200 para 20.000 partículas  $\text{cm}^3$ , essa alta concentração de material particulado leva a profundas modificações na microfísica das nuvens em grandes extensões de área na Amazônia (ANDREAE et al., 2004; COSTA; PAULIQUEVIS, 2009; ARTAXO et al., 2013).

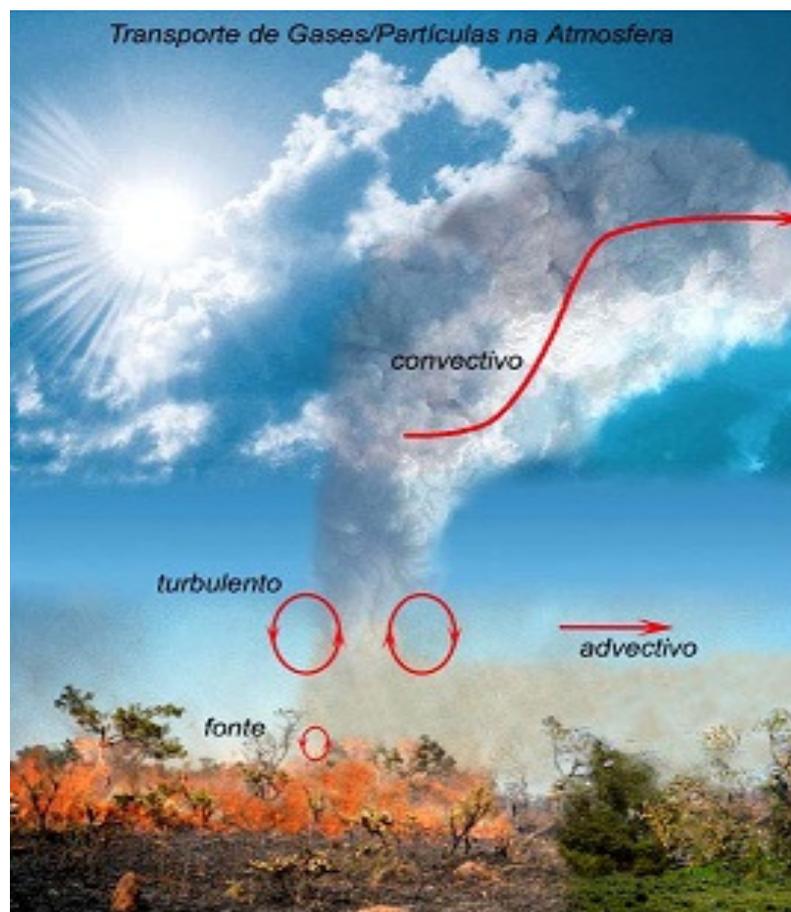
Segundo Artaxo et al., (2005) a quantidade de partículas de aerossóis emitidas de forma biogênica e antropogênica são fundamentais para a diminuição ou aumento na ocorrência de precipitação, caso o ambiente esteja relativamente limpo o que geralmente ocorre durante o período da estação chuvosa na região à concentração de NCN é menor logo,

a disputa pelo vapor de água não é tão grande possibilitando assim, o rápido crescimento do diâmetro das gotas que irão evoluir até cair como chuva. Desta forma, a nuvem não tem muito tempo para crescer, chegando ao máximo a alturas que podem variar entre 4 e 5 km evitando seu congelamento.

Na estação seca devido a forte ocorrência de queimadas de origem antrópica, as emissões de partículas de aerossóis antropogênicos aumentam e sua alta concentração leva a uma maior disputa pelo vapor de água disponível na atmosfera fazendo com que, as gotas cresçam em menor velocidade enquanto a nuvem evolui, levando assim a evaporação das gotas, água e do material particulado, onde os mesmos não retornam ao chão e são transportados pelos ventos a outras localidades impactando regiões distantes do local de origem da sua emissão (COSTA; PAULIQUEVES, 2009).

Os impactos causados pelas queimadas de origem antrópica vão muito além do seu local de origem, as emissões de partículas de aerossóis podem atingir longas distâncias. As partículas emitidas pelas queimadas estão em sua maioria presentes na fração fina, essas estão sujeitas ao transporte de longa distância através de milhares de quilômetros, fazendo com que as emissões originadas na Amazônia possam atingir regiões distantes como o Caribe (SILVA DIAS, 2006; ARTAXO et al., 2009).

A (figura 1) ilustra o principal mecanismo de redistribuição de emissões de queimadas na atmosfera. Diversos estudos envolvendo a análise do transporte de gases traços e aerossóis provenientes de queimadas na Amazônia têm sido desenvolvidos, principalmente sobre o transporte através de circulações associadas à convecção úmida profunda, apontando a importância dessa dinâmica na distribuição de poluentes para a alta e média troposfera e conseqüentemente para as questões voltadas às mudanças climáticas.



**Figura 1:** Principais mecanismos físicos de redistribuição de emissões de queimadas na atmosfera (FREITAS, 2005).

Os aerossóis emitidos pela queima de biomassa tem importantes propriedades ópticas, podendo gerar uma atenuação de até 70% da radiação incidente, impactando nos processos fotossintéticos da vegetação e por sua vez, em todo o funcionamento do ecossistema amazônico (COSTA; PAULIQUEVES, 2009).

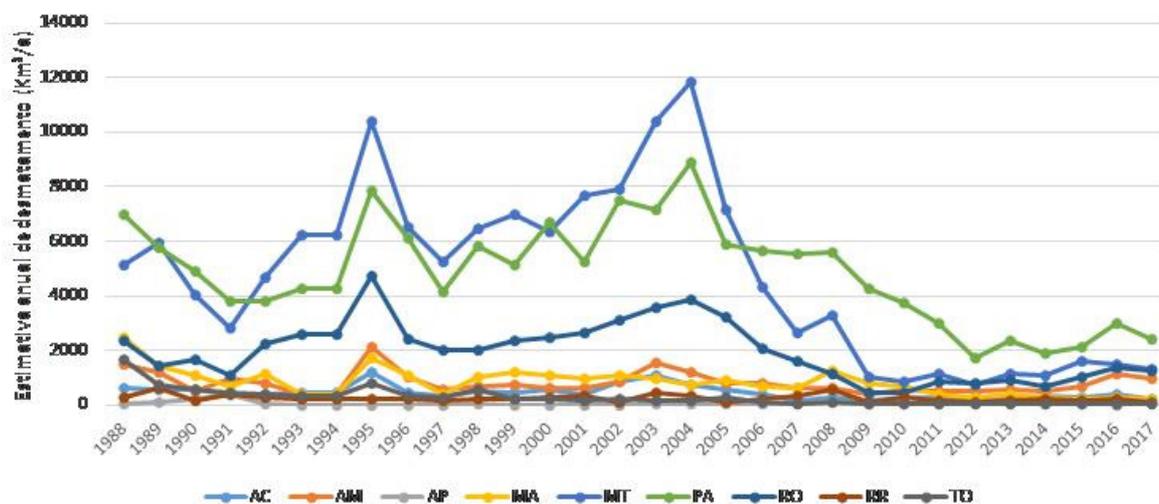
Esse impacto é causado devido às modificações nas estruturas das nuvens durante o período da estação seca, em decorrência dos fortes impactos causados pela ocorrência de queimadas. Essas altas emissões de material particulado na atmosfera amazônica causam o surgimento do Black Carbon que é constituído por fuligens oriundas de queimadas. O Black Carbon é eficiente na absorção de radiação solar fazendo com que, as nuvens evaporem antes mesmo de precipitar, aumentando assim à diminuição da ocorrência de chuvas na região (SILVA DIAS, 2006; ARTAXO et al., 2009).

Essa diminuição na ocorrência de precipitação gera uma grave ineficiência no processo de deposição úmida dos aerossóis, esse processo é eficiente para os tipos de aerossóis da moda grossa que ocorrem através da incorporação de partículas de aerossóis pelas gotículas de nuvens e pela remoção de partículas através da precipitação (ARANA, 2015).

Essa concentração de partículas de aerossóis na atmosfera leva a redução do fluxo solar pela absorção das partículas de aerossóis ocasionando o aumento da radiação difusa, dinâmica que ocorre de forma predominante durante o período da estação seca na Amazônia, considerando que, é nessa época que ocorre a maior incidência de queimadas na região. Os

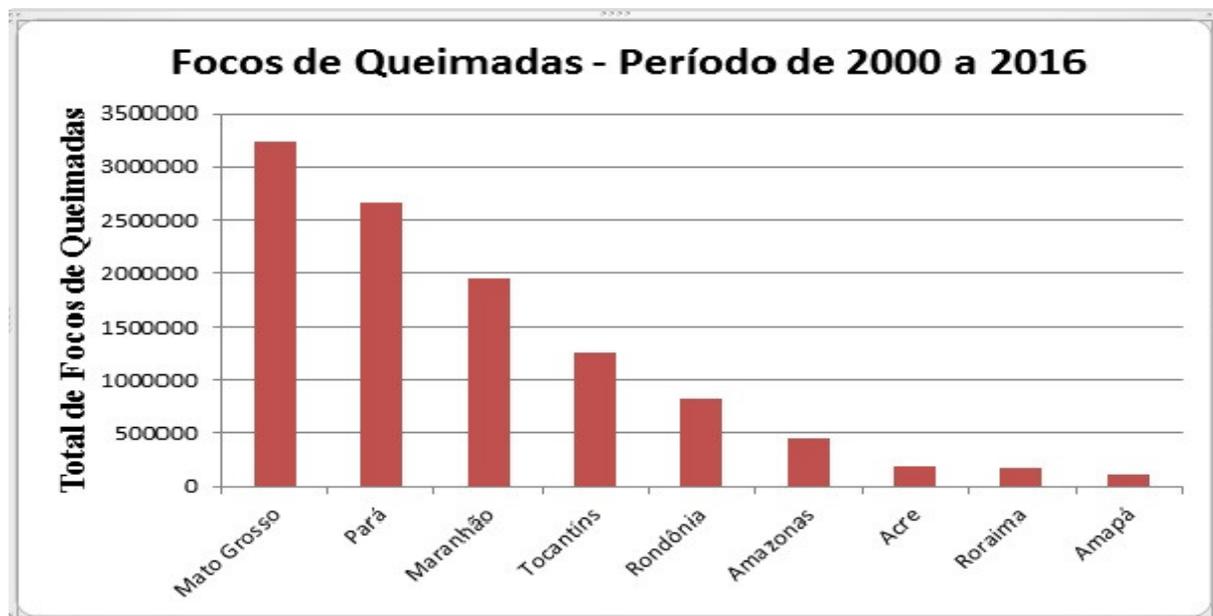
aerossóis oriundos de queimadas chegam a reduzir em até 50% a radiação fotossinteticamente ativa que é considerada a mais apropriada para a excussão do processo de fotossíntese pela vegetação (PAULIQUEVIS et al., 2007).

A (figura 2) mostra a área desflorestada pelos estados que compõem a Amazônia Brasileira, através de uma estimativa anual de desmatamento, estimada pelo Sistema PRODES (PRODES, INPE, 2017). Observa-se que a região do arco do desmatamento que compreende o leste e sul do Pará em direção a oeste, passando por Mato Grosso, Rondônia e Acre, são as mais afetadas ao longo dos anos, muito se deve ao avanço das intervenções antrópicas como a expansão das atividades agrícolas nessa região.



**Figura 2:** Estimativa anual de desmatamento, em km<sup>2</sup>/ano por estado no período de 1988 a 2017, medidos pelo sistema PRODES/INPE. Fonte: (INPE, 2017).

A (figura 3) mostra os estados com o maior número de focos de queimadas na Amazônia Brasileira no período de 2000 a 2016, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais no banco de dados online SIGQueimadas (CPTEC, INPE, 2017). Nota-se um elevado número de focos de queimadas nos estados do Mato Grosso, Pará e Maranhão em relação aos demais estados que compõem a Amazônia brasileira.



**Figura 3:** Focos de queimadas por estado no período de 2000 a 2016, fornecido pelo banco de dados online SIGQueimadas. Fonte: (INPE, 2017).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante a elaboração desta revisão sistemática foi possível identificar uma significativa concordância entre os resultados encontrados através da análise dos estudos já produzidos sobre, os impactos causados pelo desmatamento e queimadas de origem antrópica sobre o clima da Amazônia brasileira.

Os estudos analisados durante o desenvolvimento deste trabalho apontam para a importância da criação de políticas públicas que visem proteger a floresta de maneira adequada, visto que, o problema do desmatamento é causado por uma soma de fatores, que envolvem até mesmo a economia do Brasil.

Os impactos do desmatamento sobre o clima da Amazônia brasileira identificados no decorrer do desenvolvimento desta revisão são preocupantes e tem influência direta sobre o funcionamento do ecossistema amazônico. Esses impactos são: perda de produtividade agrícola, alterações no regime hidrológico, perda de biodiversidade e emissões de gases de efeito estufa. Com relação aos impactos observados sobre o clima da Amazônia esses são: alterações nas taxas de evaporação e evapotranspiração no ambiente de pastagem, supressão na ocorrência de precipitação, alteração do transporte de vapor de água para importantes regiões agrícolas do Brasil, prolongação da estação seca na região e o aumento da temperatura. Os estudos indicam que esses impactos podem ser potencializados pela ocorrência de fenômenos anômalos como o El Niño.

As pesquisas de diversos autores analisados neste estudo contemplam a hipótese de que o desmatamento poderia aumentar a ocorrência de chuvas sobre as áreas desmatadas, porém, as pesquisas também sugerem um limiar para tal cenário, que se trata da extensão do desmatamento, indicando, que esse aumento repentino da ocorrência de precipitação sobre a área desmatada só poderia ocorrer enquanto o desflorestamento não atingir grandes extensões de áreas.

A estreita relação entre o desmatamento e as queimadas na Amazônia, foram

observadas durante o desenvolvimento deste trabalho. Os impactos sobre o clima diferem um do outro, porém é evidente a existência de uma conexão dessas perturbações de origem antrópica. As queimadas de origem antrópica ocorrem predominantemente durante o período da estação seca na região amazônica. Os inúmeros focos de queimadas durante esta época do ano leva a diversos efeitos climáticos que são causados pelas emissões de partículas de aerossóis emitidos através dessas queimadas.

Durante a estação chuvosa a atmosfera se encontra livre de poluições provenientes de queimadas criando condições meteorológicas semelhantes à encontrada nos oceanos, justificando assim, o uso do termo "oceano verde" muitas vezes utilizado para definir o estado da atmosfera sobre a floresta amazônica durante a estação chuvosa.

Os impactos causados pela alta concentração dessas partículas levam a severas mudanças na microfísica das nuvens, comprometendo o desenvolvimento das chuvas visto que, a alta concentração de partículas de aerossóis oriundas de queimadas levam a uma maior disputa pelo vapor de água disponível na atmosfera dificultando, o desenvolvimento das gotículas de chuvas, fazendo com que, a nuvem desenvolva-se e atinja grandes altitudes ocasionando a liberação de calor latente e posteriormente o seu congelamento, essa dinâmica ocasiona a inibição parcial ou total de precipitação. As pironuvens que são as nuvens afetadas diretamente pela fumaça das queimadas evaporam-se antes mesmo de precipitar, essa dinâmica soma negativamente para a diminuição das chuvas na região amazônica.

As partículas de aerossóis emitidas pelas queimadas também são eficientes na absorção e espalhamento de radiação solar o que acaba levando, a alterações no balanço de radiação da superfície interferindo diretamente nos processos fotossintéticos da vegetação. Devido o presente estudo se tratar de uma pesquisa de revisão de literatura científica a mesma está potencialmente condicionada aos vieses de uma pesquisa de revisão, ou seja, na dependência dos resultados encontrados nas publicações analisadas.

Com base nas análises feitas para a produção deste estudo de revisão foi possível concluir que ainda temos um conhecimento incompleto de como a Amazônia se comporta como um sistema ambiental integrado e qual a resposta dos seus ecossistemas as perturbações de origem antropogênicas. O programa d LBA na Amazônia, tem realizado grandes avanços em diversas áreas de estudo na região. Podem-se destacar os avanços na área de química da atmosfera que tem buscado entender os impactos de origem antropogênica sobre o funcionamento do clima e até mesmo sobre a biologia da floresta na Amazônia. O clima da Amazônia está sendo modificado gradativamente pelas fortes mudanças no padrão de uso do solo, os impactos causados por essas mudanças de origem antrópica podem atingir regiões distantes amplificando desta forma os impactos gerados pelo desmatamento e queimadas sobre o clima em escala continental.

A composição e estrutura da atmosfera amazônica está sofrendo com alterações significativas devido às mudanças de uso do solo. Todas essas alterações causam importantes mudanças no clima não apenas da Amazônia, mas também em regiões contíguas. O investimento em novas pesquisas científicas sobre os impactos causados pelas queimadas e desmatamento na Amazônia, com o objetivo de propiciar maior conhecimento sobre os complexos mecanismos que incluem as inter-relações entre a biosfera e atmosfera são fundamentais. Os resultados dessas pesquisas são essenciais, pois irão auxiliar na futura formulação de políticas públicas que possam tornar possível o desenvolvimento sustentável da região, com a preservação do ecossistema amazônico.

## REFERÊNCIAS

- ANDREAE, M.O.; ARTAXO, P.; ROSENFELD, D.; LONGO, K.M.. Smoking rain clouds over the amazon-  
doi:10.1126/science.1092779. **Science**, v. 303, p. 1337-1342, 2004.
- ARANA, A. **A composição elementar do aerossol atmosférico em Manaus e Balbina**. 2009. 98p. Dissertação (Mestrado em Clima e Ambiente) – Instituto de Pesquisas da Amazônia INPA, Manaus, 2009.
- ARANA, A. **Aerossóis atmosféricos na Amazônia: Composição elementar orgânica e inorgânica em regiões com diferentes usos do solo**. 2015. 153p. Tese (Doutorado em Clima e Ambiente) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia INPA, Manaus, 2015.
- ARAUJO, J.R.; FERREIRA, E.F.; ABREU, M.H.. Revisão sistemática sobre estudos de espacialização da dengue no Brasil. **Revista brasileira epidemiol**, v. 11, n. 4, p. 696-708, 2008.
- ARTAXO, P.; GATTI, L.V.; CORDOVA, A.M.; LONGO, K.M.; FREITAS, S.R.; LARA, L.L.; PAULIQUEVIS, T.M.; PROCOPIO, A.S.; RIZZO, L.V.. Química atmosférica na Amazônia: a floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. **Acta amazônica**, v. 35, n. 2, p. 185-196, 2005.
- ARTAXO, P.; OLIVEIRA, P.; LARA, L.L.; PAULIQUEVIS, T.M.; RIZZO, L.V.; PIRES JUNIOR, F.C.; PAIXÃO, M.A.; LONGO, K.M.; FREITAS, S.R.; CORREIA, A.L.. Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. **Revista brasileira de meteorologia**, v. 21, n. 3a, p. 168-189, 2006.
- ARTAXO, P.; RIZZO, L.V.; BRITO, J.; BARBOSA, H.; ARANA, A.; SENA, E.; CIRINO, G.; BASTOS, W.; MARTIN, S.T.; ANDREAE, M.O.. Atmospheric aerosol in Amazonia and land use change: from natural biogenic to biomass burning conditions-  
doi:10.1039/c3fd00052d. **Faraday discussions**, p. 203-235, 2013.
- ARTAXO, P.; RIZZO, L.V.; PAIXÃO, M.A.; LUCCA, S.; OLIVEIRA, P.; LARA, L.L.; WIEDEMANN, K.R.; ANDREAE, M.O.; HOLBEN, B.; SCHAFER, J.; CORREIA, L.A.; PAULIQUEVIS, T.M.. Partículas de aerossóis na Amazônia: composição, papel no balanço de radiação, formação de nuvem e ciclos de nutrientes-  
doi:10.1029/2008GM000778. **Amazonia and global change, Geophysical monograph series 186**, p. 233-250, 2009.
- CHU, P.S.; HASTENRATH, S.. Detecting climate change concurrent with deforestation in the amazon basin: which way has it gone? **Bulletin of the American meteorological society**, v. 30, n. 4, p. 579-583, 1994.
- CORREIA, F.W.; ALVALÁ, R.; MANZI, A.. Impactos das modificações da cobertura vegetal no balanço de água na Amazônia: um estudo com modelo de circulação geral da atmosfera MCGA. **Revista brasileira de meteorologia**, v. 21, n. 3a, p. 153-167, 2006.
- CORREIA, F.W.; MANZI, A.; CANDIDO, L.A.; SANTOS, R.M.N.; PAULIQUEVIS, T.M.. Balanço de umidade na Amazônia e sua sensibilidade às mudanças na cobertura vegetal. **Mudanças climáticas/artigos**, p. 39-43, 2007.
- COSTA, A.A.; PAULIQUEVIS, T.M.. Aerossóis, nuvens e clima: resultados do experimento LBA para o estudo de aerossóis e microfísica de nuvens. **Revista brasileira de meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 234-253, 2009.
- CPTEC, INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. SIG Queimadas Monitoramento de Focos. (...) <  
<https://prodwww-queimadas.dgi.inpe.br/bdqueimadas>>. Acessado em: 25/11/17.
- D'ALMEIDA, C.; VOROSMARTY, C.J.; HURTT, G.C.; MARENGO, J.A.; DINGMAN, S.L.; KEIM, B.D.. The effects of deforestation on the hydrological cycle in Amazonia: a review on scale and resolution-  
doi:10.1002/joc.1475. **International journal of climatology**, v. 27, p. 633-647, 2007.
- DEFRIES, R.S.; HOUGHTON, R.A.; HANSEN, M.C.; FIELD, C.B.; SKOLE, D.; TOWNSHEND, J.. Carbon emissions from tropical deforestation and regrowth based on satellite observations for the 1980s and 1990s-

doi:10.1073/pnas.182560099. **Proceedings of the national academy of sciences of the united states of America**, v. 99, n. 22, p. 14256-14261, 2002.

FEARNSIDE, P.M.. Desmatamento na Amazônia brasileira: historia, índices e consequências. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 114-123, 2005.

FEARNSIDE, P.M.. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta amazônica**, v. 36, n. 3, p. 395-400, 2006.

FERREIRA DA COSTA, R.; FEITOSA, J.R.P.; FISCH, G.; SOUZA, S.S.; NOBRE, C.A.. Variabilidade diária da precipitação em regiões de floresta e pastagem na Amazônia. **Acta amazônica**, v. 28, n. 4, p. 395-408, 1998.

FREITAS, S.R.; LONGO, K.M.; SILVA DIAS, M.A.F.; SILVA DIAS, P.L.. Emissões de queimadas em ecossistemas da América do sul. **Revista estudos avançados da Universidade de São Paulo**, v. 19, n. 53, p. 167-185, 2005.

GALVAO, T.F.; PEREIRA, M.G.. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração-  
doi:10.5123/s1679-49742014000100018. **Epidemiol serviço de saúde**, v. 23, n. 1, p. 183-184, 2014.

GASH, J.H.C.; NOBRE, C.A.. Climatic effects of Amazonian deforestation: some results from abracos. **Bulletin of the American meteorological society**, v. 78, n. 5, p. 823-829, 1997.

LONGO, K.M.; FREITAS, S.R.; ANDREAE, M.O.; YOKELSON, R.; ARTAXO, P.. Queima de biomassa na Amazônia: emissões, transporte de fumaça em longa distância e seus impactos regionais e remotos-  
doi:10.1029/2008GM000847. **Amazonia and global change, Geophysical monograph series 186**, p. 207-232, 2009.

NOBRE, C.A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L.F.. Mudanças climáticas e Amazônia. **Mudanças climáticas/artigos**, p. 22-27, 1999.

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

PAULIQUEVIS, T.M.; ARTAXO, P.; OLIVEIRA, P.; PAIXÃO, M.A.. O papel das partículas de aerossol no funcionamento do ecossistema amazônico. **Mudanças climáticas/artigos**, p. 48-50, 2007.

POORTER, L.; BONGERS, F.; AIDE, T.M.; ALMEYDA ZAMBRANO, A.M.; BALVANERA, P.; BECKNELL, J.M.; BOUKILI, V.; BRANCALION, P.H.S.; BROADBENT, E.N.; CHAZDON, R.L.; CRAVEN, D.; ALMEIDA CORTEZ, J.S.; CABRAL, G.A.L.; DE JONG, B.H.J.; DENSLOW, J.J.; DENT, D.H.; DEWALT, S.J.; DUPUY, J.M.; DURÁN, S.M.; ESPÍRITO SANTO, M.M.; FANDINO, M.C.; CÉSAR, R.G.; HALL, J.S.; HERNANDEZ STEFANONI, J.L.; JAKOVAC, C.C.; JUNQUEIRA, A.B.; KENNARD, D.; LETCHER, S.G.; LICONA, J.C.; LOHBECK, M.; SPIOTTA, M.E.; MARTÍNEZ, M.; MASSOCA, P.; MEAVE, J.A.; MESQUITA, R.; MORA, F.; MUÑOZ, R.; MUSCARELLA, R.; NUNES, Y.R.F.; OCHOA, S.; OLIVEIRA, A.A.; ORIHUELA, E.; PEÑA, M.; PÉREZ GARCIA, E.A.; PIOTTO, D.; POWERS, J.S.; RODRÍGUEZ VELÁZQUEZ, J.; ROMERO PÉREZ, I.E.; RUÍZ, J.; SALDARRIGA, J.G.; SANCHEZ, A.; SCHWARTZ, N.B.; STEININGER, M.K.; SWENSON, N.G.; TOLEDO, M.; URIARTE, M.; VAN BREUGEL, M.; VANDER WAL, H.; VELOSO, M.D.M.; VESTER, H.M.F.; VICENTINI, A.; VIEIRA, I.C.G.; BENTOS, T.V.; WILLIAMSON, G.B.; ROZENDAAL, D.M.A.. Biomass resilience of neotropical secondary forest-  
doi:10.1038/nature16512. **Nature**, v. 530, p. 211-214, 2016.

PRODES, INPE. Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. (...) <<http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>>. Acessado em: 25/11/17.

RIVERO, S.L.M.; ALMEIDA, O.T.; ÁVILA, S.; SOUZA, W.O.. Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. **Nova economia Belo Horizonte**, v. 19, n. 1, p. 41-66, 2009.

ROCHA, V.M.; CORREIA, F.W.; FIALHO, E.S.. A Amazônia frente às mudanças no uso da terra e do clima



global e a importância das áreas protegidas na mitigação dos impactos: um estudo de modelagem numérica da atmosfera-[doi:10.5654/actageo2012.0002.0002](https://doi.org/10.5654/actageo2012.0002.0002). **Acta geográfica**, p. 31-48, 2012.

ROCHA, V.M.; CORREIA, F.W.; FONSECA, P.. Reciclagem de precipitação na Amazônia: um estudo de revisão-[doi:10.1590/0102-778620140049](https://doi.org/10.1590/0102-778620140049). **Revista brasileira de meteorologia**, v. 30, n. 1, p. 59-70, 2015.

SILVA DIAS, M.A.F.. Meteorologia, desmatamento e queimadas na Amazônia: uma síntese de resultados do LBA. **Revista brasileira de meteorologia**, v. 21, n. 3a, p. 190-199, 2006.

SILVA DIAS, M.A.F.; COHEN, J.P.C.; GANDÚ, A.W.. Interações entre nuvens, chuvas e biosfera na Amazônia. **Acta amazônica**, v. 35, n. 2, p. 215-222, 2005.

TAVARES, J.P.N.. Interação entre a vegetação e a atmosfera para formação de nuvens e chuva na Amazônia: uma revisão. **Revista estudos avançados da Universidade de São Paulo**, p. 2-12, 2008.