

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

FELIPE ZAMPIROLI MOREIRA

VULNERABILIDADE A AÇÃO ANTRÓPICA NOS ESTADOS DA
AMAZÔNIA BRASILEIRA

JERÔNIMO MONTEIRO - ES

2017

FELIPE ZAMPIROLI MOREIRA

VULNERABILIDADE A AÇÃO ANTRÓPICA NOS ESTADOS DA
AMAZÔNIA BRASILEIRA

Monografia apresentada ao
Departamento de Ciências
Florestais e da Madeira da
Universidade Federal do
Espírito Santo, como requisito
parcial para obtenção do título
de Engenheiro Florestal.

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2017

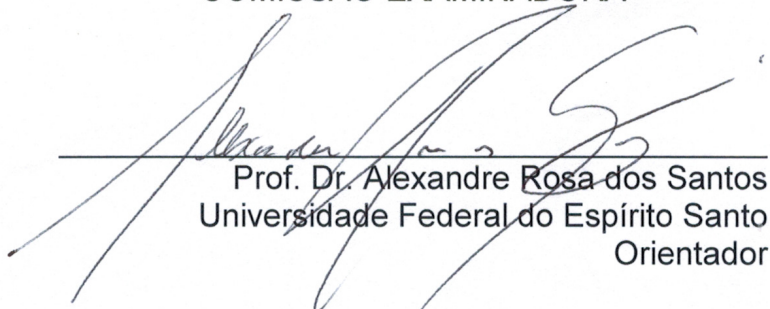
FELIPE ZAMPIROLI MOREIRA

ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL DOS ESTADOS DA AMAZÔNIA BRASILEIRA

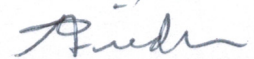
Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Aprovada em 05 de janeiro de 2018.

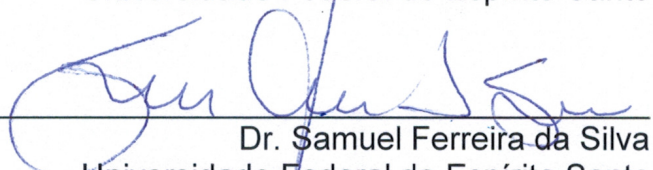
COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador



Prof. Dr. Nilton Cesar Fiedler
Universidade Federal do Espírito Santo



Dr. Samuel Ferreira da Silva
Universidade Federal do Espírito Santo

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por toda a força que me deu pra conseguir completar esse ciclo.

Aos meus pais e ao meu irmão por todo apoio e por toda a força. Mesmo nos momentos difíceis sempre me incentivando a continuar e que uma hora tudo ia valer a pena.

Ao professor Alexandre Rosa dos Santos por ter confiado em mim e por toda a orientação que me deu para a confecção desse trabalho. Mesmo fora de horário mostrou disponibilidade para atender minhas dúvidas.

À equipe de pesquisa do Geotechnology Applied to Global Environment (GAGEN), pela amizade e toda ajuda na produção desse trabalho, em especial a Msc. Kaíse Barbosa de Souza, pela paciência e disponibilidade.

Ao professor Nilton César Fiedler e ao Dr. Samuel Ferreira da Silva pela disposição de participar da banca avaliadora desse trabalho de conclusão de curso.

À Universidade Federal do Espírito Santo, pela oportunidade que me concedeu para aprender e evoluir.

Agradeço a toda a minha família pelas dicas e conselhos para melhorarem minha vida. Aos meus primos pelos momentos incríveis de descontração

Aos amigos que fiz ao longo do curso, em especial ao Ricardo Mendes Moraes de Jesus, que me ajudou na construção desse trabalho e ao Luan Teixeira Mendes por todos os momentos de amizade.

RESUMO

Muitas são as formas de distúrbios que ocorrem no bioma Amazônia hoje em dia. Isso torna a monitoração do bioma, através de sistemas computadorizados, muito importante, pois a área é grande e há a escassez de pessoal, devido a precarização dos órgãos de fiscalização. O objetivo desse trabalho foi determinar as áreas de maiores riscos de ocorrência de vulnerabilidade a ação antrópica nos estados da Amazônia .com o uso do produto MCD12Q1 do sensor MODIS do satélite TERRA. Após isso foi feito o corte da imagem de uso da terra de 2001 e de 2013 do sensor MODIS com base no bioma. Posteriormente fez-se a vetorização e dissolução das classes de uso da terra dos dois anos. Com base neste sensor, a imagem foi classificada em 17 classes, dessas classes, apenas 5 foram eleitas como ações antrópicas, sendo elas áreas urbanas, . Definida as classes antropogênicas, elas foram exportadas individualmente e foram calculadas as distâncias euclidianas de cada classe. Para a padronização dos valores, foi aplicada a lógica Fuzzy. Por fim foi aplicada a modelagem matemática proposta por Saaty (1975), método AHP e agrupando-se os valores em classes segundo os postos de Jenks. Após a finalização dos mapas prontos os estados do bioma foram separados e analisados no aplicativo computacional TerrSet. Através dos mapas e gráficos gerados pode-se observar que de forma geral, ao longo dos rios houve maior incidência das classes de alta e alta – altíssima vulnerabilidade ambiental. Os estados Tocantins, Mato Grosso, Maranhão, e Rondônia, devido a sua proximidade com áreas ocupadas e com infraestrutura elas formam as que apresentaram o maior aumento na classe alta e alta – altíssima vulnerabilidade. O estado do Amapá houve o aparecimento da classe baixa – baixíssima vulnerabilidade.

Palavras – chave: Sistemas de informações geográficas;Desmatamento; Vulnerabilidade; Ações antrópicas

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	9
1.2 – Objetivo	10
2 - REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 – Bioma Amazônia	11
2.2– Uso e ocupação da terra	12
2.3 – Geotecnologias	13
2.4 – Sensor Modis	14
2.5 – Lógica <i>Fuzzy</i>	15
3– METODOLOGIA	16
3.1 – Caracterização da área.	16
3.2 – Obtenção e pré - processamento das imagens.	17
3.3 – Definição das variáveis de ações antrópicas.	18
3.4 - Determinação da distância euclidiana	19
3.5 – Lógica nebulosa <i>Fuzzy</i>	19
3.6 – Modelagem matemática proposta por Saaty.	19
3.7 – Determinação dos pesos das variáveis	23
3.8 – Modelagem Land change	23
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1 – Justificativa dos pesos das variáveis	25
4.2 – Mapas da distância euclidiana	25
4.3 – Variáveis <i>Fuzzy</i>	28
4.4 – Definição dos pesos matemáticos das variáveis.	31
4.5 – Mapa final da vulnerabilidade antrópica.	32
4.6 – Variação por estado da Amazônia brasileira.	35
4.7 – Comparação das variáveis no TerrSet.	39
5 – Conclusões	43
REFERÊNCIAS	44
APÊNDICE	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - pesos do modelo de Saaty	20
Tabela 2 - matriz de comparação pareada.....	21
Tabela 3- Pesos calculados.	21
Tabela 4- Valores de IR para matrizes quadradas de ordem n.	22
Tabela 5 - pesos matemáticos das variáveis para a equação de vulnerabilidade ambiental.....	32
Tabela 6 - variações líquidas para os estados da Amazônia entre os anos de 2001 e 2013	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa da Amazônia brasileira e seus estados.....	16
Figura 2 - Processo metodológico para confecção dos mapas.....	17
Figura 3 - Distância euclidiana das variáveis das ações antrópicas de 2001.....	26
Figura 4 - Distância euclidiana das variáveis das ações antrópicas de 2013.....	27
Figura 5 - funções de pertinência das variáveis das ações antrópicas de 20013	28
Figura 6 - funções de pertinência das variáveis das ações antrópicas de 2013	29
Figura 7 - novos valores, de 0 a 1, para as ações antrópicas de 2001	30
Figura 8 - novos valores, de 0 a 1, para as variáveis das ações antrópicas de 201331	
Figura 9 - mapa final das classes para o ano de 2001.....	33
Figura 10 - mapa final das classes para o ano de 2013.....	34
Figura 11 - Estados do bioma e suas classes em porcentagem de 2001	35
Figura 12 - Estados do bioma e suas classes em porcentagem de 2013	36
Figura 13 - porcentagem de cada classe de vulnerabilidade nos estados do bioma em 2001	37
Figura 14 - porcentagem de cada classe de vulnerabilidade nos estados do bioma em 2013	38
Figura15 - variação líquida das classes de risco entre os anos de 2001 e 2013	40

1 - INTRODUÇÃO

Embora a floresta amazônica tenha uma vasta área, com uma grande biodiversidade, a floresta vem diminuindo devido às pressões antrópicas. No acordo de Paris, de 2015, o Brasil prometeu zerar o desmatamento até 2030 e recuperar 12 milhões de hectares de floresta para conter o aquecimento global. Porém em 2016, segundo o Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, o desmatamento na área cresceu quase 30% sendo o pior resultado desde 2008.

Várias são as causas desse desmatamento, e elas têm peso distinto nas diferentes regiões do país, sendo as mais recorrentes a conversão das terras para as práticas agrícolas e pecuárias, a exploração da madeira, a urbanização e a criação de infraestruturas como pontes, estradas e barragens. (Moreira, 2106).

O desmatamento intensivo começou na década de 70 com os incentivos do governo para a povoação da região (CARVALHO *et al.*, 2013). Várias são as consequências dos desmatamentos, segundo Chambers., Artaxo, (2017) com o desmatamento de uma região de médio tamanho, a floresta altera a circulação de ventos e faz chover menos na região anterior ao desmatada, e chove mais na região posterior ao desmatamento.

Os solos da Amazônia são pobres, sendo a maior parte dos nutrientes encontrados na camada superficial, devido à ciclagem de nutrientes. Com a retirada das florestas, a ciclagem não acontece e a camada mais rica em nutrientes é perdida.

Cuidar de uma área grande como a Amazônia é difícil, neste sentido, a utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG) é fundamental, visto que o planejamento da conservação do bioma, a monitoração e até a elaboração de um plano de proteção a floresta é facilitada por esta ferramenta. O SIG pode ser útil na definição, implementação e fiscalização das áreas florestais.

1.2 – Objetivo

1.2.1 – Objetivo geral

O objetivo desse trabalho foi determinar as áreas de maiores riscos de ocorrência de vulnerabilidade a ação antrópica nos estados da Amazônia .

1.2.1 – Objetivos específicos

- Classificar as áreas da Amazônia de acordo com o risco a vulnerabilidade a ação antrópica.
- Verifica a evolução da vulnerabilidade entre os anos de 2001 e 2013.
- Analisar a vulnerabilidade nos estado da Amazônia entre os anos de 2001 e 2013.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 – Bioma Amazônia

O bioma Amazônia no Brasil chega a ocupar uma área de 4.196.943 Km² e se encontra distribuída em nove estados, Acre, Amapá, Amazonas, Pará e Roraima, e parte do território do Maranhão, Mato Grosso, Rondônia e Tocantins. O bioma Amazônia é formado por distintos ecossistemas como florestas densas de terra firme, florestas estacionais, florestas de igapó, campos alagados, várzeas, savanas, refúgios montanhosos e formações pioneiras.

A floresta Amazônica é a maior floresta tropical do mundo, sendo particularmente importante devido ao seu papel na ciclagem de água e carbono (SAATCHI et al., 2007) e na conservação da biodiversidade do planeta.

A Amazônia está localizada em uma região úmida, seu clima é tropical úmido em grande parte, de acordo com a classificação de Köppen o clima varia de Af, Am até AW. A temperatura fica em torno de 25°C e a precipitação anual média fica em torno de 2.300 mm, sendo que em algumas áreas(próximo a fronteira do Brasil, Colômbia e Venezuela) pode se chegar a 3.500 mm/ano.(LIMA; CRUZ, 2011)

Os solos da Amazônia apresentam as seguintes características: pobreza em fósforo; acidez elevada; saturação por alumínio alta; baixa CTC; pobreza em macro e micronutrientes; baixa fixação de fósforo; lençol freático elevado na maior parte dos solos; densidade do solo alta; adensamento e vulnerabilidade à compactação; susceptibilidade a erosão nos solos de relevo movimentado e erosão laminar ligeira nas áreas de Savana em Roraima. (LIMA; CRUZ, 2011).

O desmatamento expressivo do bioma Amazônia começou na época da ditadura militar, com grandes obras como a Belém-Brasília , a Cuiabá-Santarém, a Cuiabá-Porto Velho-Manaus, a Perimetral Norte e a Transamazônica, todos inseridos no Programa de Integração Nacional – PIN, que ocorreu na primeira metade da década de 1970 (JOSÉ; BACHA, 2011).

Após esse período a ocupação da Amazônia se deu através dos pequenos proprietários de terra que foram expandindo a fronteira agrícola, sendo, posteriormente, substituídos por uma segunda geração de proprietários, com maior

capitalização e ocupando áreas maiores (Souza et al., 2012). Ao mesmo tempo, essa dinâmica forçou os pequenos agricultores a procurarem novas áreas de ocupação, abrindo novas fronteiras para o desmatamento.

Hoje em dia o desmatamento na Amazônia brasileira tem como principais causas diretas a mudança no uso do solo é a pecuária, a agricultura de larga escala e a agricultura de corte e queima. Dessas causas, a expansão da pecuária é a mais importante. (RIVERO et al., 2009)(CARVALHO et al., 2013)(DINIZ et al., 2009)

Apesar de o desmatamento estar ocorrendo em todos os países da Amazônia, no Brasil ele é mais intenso; além disso, é o único país que fornece dados mais precisos sobre alterações da cobertura da terra nessa região (VASCONCELOS et al., 2006). Esses dados são obtidos através do projeto PRODES que foi criado pelo governo. Esse projeto visa o monitoramento por satélites do desmatamento por corte raso na Amazônia Legal e produz, desde 1988, as taxas anuais de desmatamento na região, que são usadas pelo governo brasileiro para o estabelecimento de políticas públicas.

2.2– Uso e ocupação da terra

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2006), os levantamentos de uso e da cobertura da terra indicam a distribuição geográfica da tipologia de uso, que pode ser identificada através de padrões homogêneos da cobertura terrestre; devendo estes estudos serem considerados como importantes instrumentos para a construção de indicadores ambientais e para a avaliação da capacidade de suporte ambiental, visto que proporcionam o conhecimento dos diferentes manejos empregados e identificam alternativas que permitem o desenvolvimento sustentável.

A identificação e classificação do uso da terra são fundamentais no conhecimento do ambiente, assim como no desenvolvimento de técnicas voltadas para a obtenção e manutenção dessas informações(VAEZA et al., 2010).

Segundo Tagliani (2003) entende-se por vulnerabilidade ambiental a maior ou menor susceptibilidade de um ambiente a um impacto potencial provocado por um uso antrópico qualquer.

2.3 – Geotecnologias

As geotecnologias são o conjunto de tecnologias destinadas à coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica. São compostas por soluções em *hardware*, *software* as pessoas e o banco de dados que em conjunto constituem poderosas funções que auxiliam na tomada de decisões. Dentre as geotecnologias pode-se citar: cartografia digital, sistema de posicionamento global, topografia, sensoriamento remoto e, sistemas de informação geográfica (ROSA, 2005).

Sensoriamento remoto pode ser compreendido como sendo uma tecnologia que possibilita a aquisição de informações sobre determinados alvos, sem contato físico com os mesmos (NOVO, 1989).

O sensoriamento remoto utiliza sensores a bordo de aeronaves ou satélites, que são equipamentos capazes de realizar transmissão, recepção, armazenamento e processamento de dados, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre nos domínios espacial, temporal e físico, por meio das interações entre a radiação eletromagnética e o alvo (ROCHA, 2002).

Segundo CAMPOS et al.,(2004) o sensoriamento remoto e o geoprocessamento constituem-se em técnicas fundamentais para a manutenção de registros do uso da terra ao longo do tempo. As imagens de satélite, em forma digital ou papel, são muito importantes e úteis, pois permite avaliar as mudanças ocorridas na paisagem de uma região e num dado período, registrando a cobertura vegetal em cada momento.

A realização de mapeamentos utilizando técnicas de sensoriamento remoto em áreas florestais começou no Brasil com a utilização de fotografias aéreas de áreas florestais de difícil acesso, primeiramente utilizando-se da fotointerpretação e da fotogrametria, tornando-se uma ferramenta imprescindível para a ciência florestal.(SOUZA et al., 2007)

Diferentes tecnologias de sensoriamento remoto têm sido utilizadas para o mapeamento, atualização de inventários florestais e avaliação de danos florestais, por meio de fotografias aéreas e imagens digitais. A rápida evolução tecnológica de sensores remotos vem proporcionando a obtenção de dados digitais com uma resolução e agilidade espacial cada vez maiores (SOUZA et al., 2007).

2.4 – Sensor Modis

O *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) é um dos principais sensores a bordo do satélite Terra EOS, lançado em dezembro de 1999, e do satélite Aqua, lançado em 2002. A órbita do satélite Terra em torno do planeta Terra é cronometrada para que ele passe de norte a sul através do equador pela manhã, enquanto o Aqua passa de sul a norte sobre o equador, à tarde. Terra MODIS e Aqua MODIS estão visualizando toda a superfície da Terra a cada 1 a 2 dias, adquirindo dados em 36 bandas espectrais ou grupos de comprimentos de onda (NASA, 2015). Foi desenvolvido para fornecer monitoramento aprimorado para pesquisas sobre os continentes, oceanos e a atmosfera. Seu projeto para os componentes da imagem do terreno combina características dos sensores AVHRR, da série NOAA, e TM, da série Landsat-4 e 5 (JUSTICE et al., 1998)

O MODIS tem a capacidade de captar uma faixa de largura de 2.330 km, imageando informações de toda a superfície terrestre a cada um ou dois dias. Possui órbita polar a 705 km de altitude, heliossícrona e possui resolução radiométrica de 12 bits. Atua com registro em 36 bandas espectrais e adquire dados em três resoluções espaciais: 250 m (Bandas 1 e 2), 500 m (Bandas de 3 a 7), 1000 m (Bandas de 8 a 36). Quanto ao tempo de geração de produtos pode ser diário, 8 dias, 16 dias, mensal, trimestral e anual. Seus produtos são disponibilizados em formatos *Hierarchy Data Format* (HDF) e projeção sinusoidal (NASA, 2010).

No MOD 12, três produtos contêm parâmetros de tipos de cobertura da terra e mudança no uso, que é produzido com uma resolução espacial de 1 Km, com base em dados trimestrais, 45 iniciando-se 18 meses após o lançamento das plataformas TERRA e ACQUA. A principal classificação da cobertura terrestre a ser empregada, baseia-se no esquema de classificação do Programa Geosfera-Biosfera Internacional – IGBP.

O MODIS é o mais importante sensor feito para estes satélites, porque, segundo Barker *et al.* (1992), tem inúmeras características, entre elas: grande cobertura espacial e espectral; Continuidade nas tomadas de medidas nas regiões espectrais, que já estão sendo estimadas por outros satélites, vindo a complementar as informações, já adquiridas.

2.5 – Lógica *Fuzzy*

A área de inteligência artificial, particularmente o de controle e modelagem *Fuzzy*, tem se estabelecido nos últimos anos em diversas áreas de conhecimento e aplicada em estudos ambientais para tomada de decisões.

A característica especial da logica *Fuzzy* (ZADEH, 1965) consiste na agregação da precisão inerente ao modelo matemático de conjuntos clássicos com a imprecisão do mundo real.

A padronização dos critérios é um processo de conversão dos valores dos dados originais, a fim de compatibilizá-los entre si, ou seja, padronizá-los para uma mesma escala de valores. E a lógica fuzzy tem a função de padronizar os fatores que são expressos em uma escala, em outros que após convertidos poderão ser comparados.(OLIVEIRA, 2014)

3– METODOLOGIA

3.1 – Caracterização da área.

O estudo foi realizado no bioma Amazônia (Figura 1), que abrange os estados Pará, Amazonas, Amapá, Acre, Rondônia e Roraima e partes do Maranhão, Tocantins e Mato Grosso. Este é considerado o maior bioma do Brasil, com uma área de 4.196.943 km², representando cerca de 50% do território nacional (IBGE, 2012).

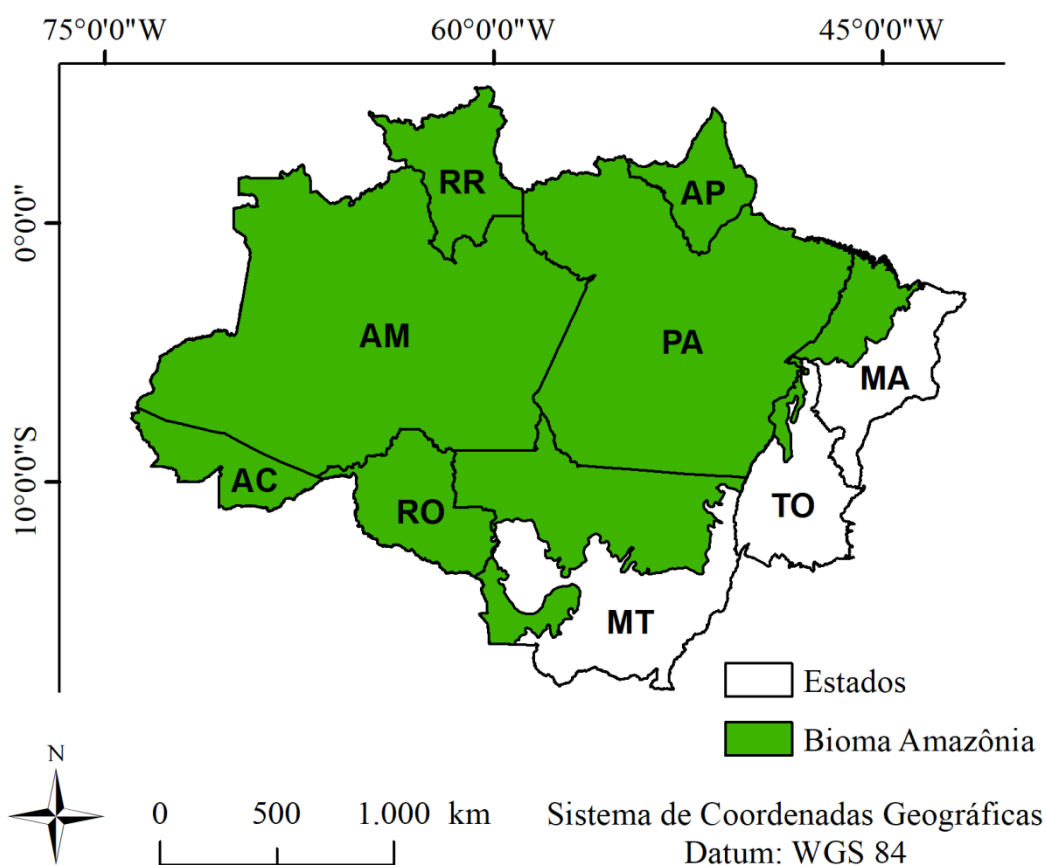


Figura 1 - Mapa da Amazônia brasileira e seus estados

Segundo a classificação de Köppen, a região amazônica apresenta clima classificado como Af na maior parte, com temperaturas anuais variando entre 21 e 42 °C (LEMOS; SILVA, 2011).

O trabalho foi dividido em duas etapas, a parte de pré – processamento das imagens e a parte de processamento (Figura 2).

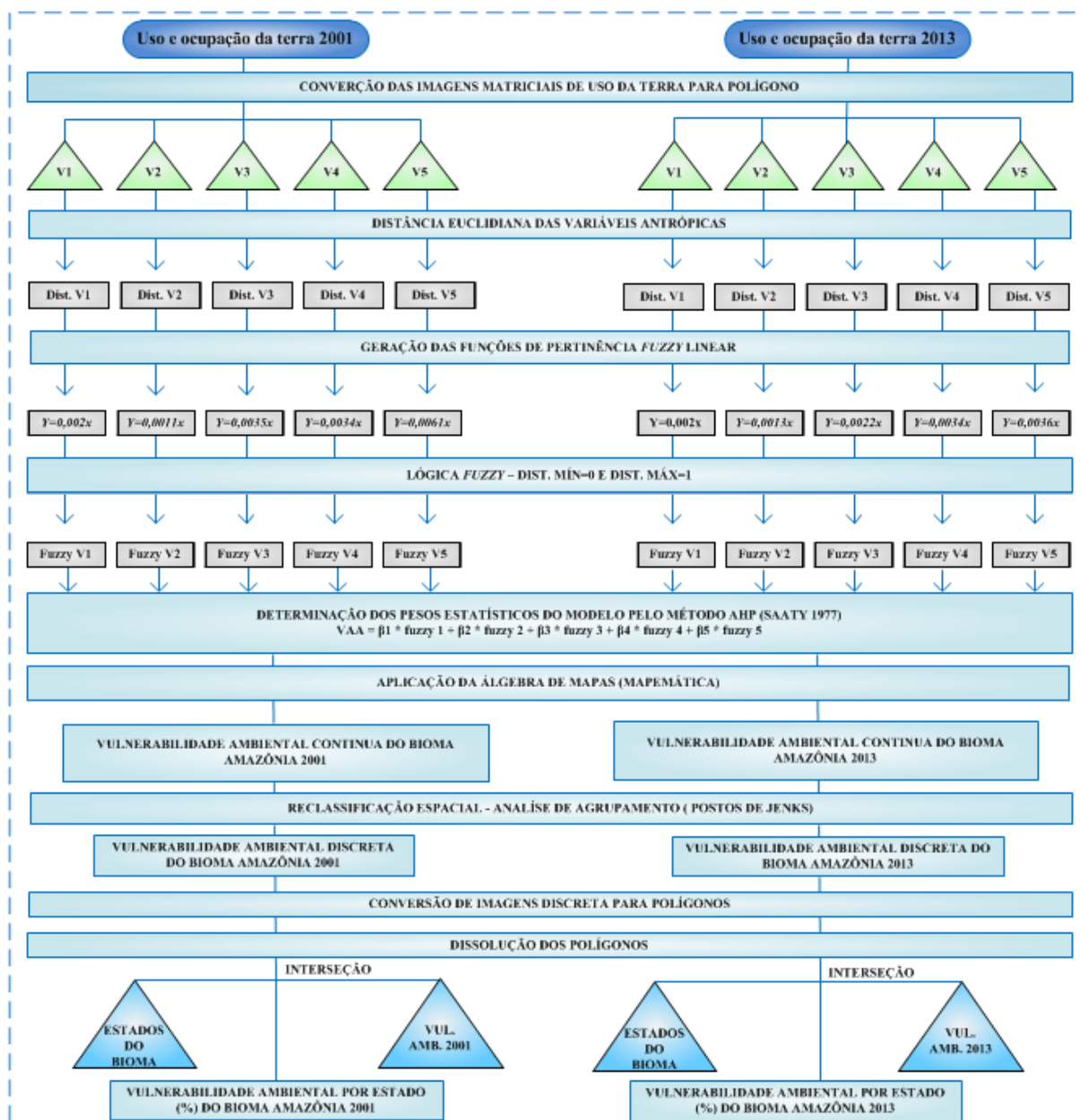


Figura 2 - Processo metodológico para confecção dos mapas

3.2 – Obtenção e pré - processamento das imagens.

Os dados de uso e ocupação da terra que foram utilizados para a confecção desse trabalho foram obtidos do satélite Terra, sensor MODIS, produto MCD12Q1. As imagens desse trabalho abrangem todo o bioma Amazônia e apresentam resolução espacial de 500m e resolução temporal é anual.

Essas imagens são disponibilizadas de forma gratuita no site da NASA, com dados obtidos desde 2000. Neste estudo, porém, os dados utilizados correspondem aos anos de 2001 e 2013.

A máscara do Bioma Amazônia obtida através do Instituto Brasileira de Geografia e Estatística (IBGE) foi utilizada para extrair a área de estudo das imagens geradas pelo sensor MODIS, devido as imagens vindas do sensor MODIS abrangerem uma área muito maior que o bioma.

Foi utilizada a classificação do Tipo 1, definido pelo Programa Internacional Biosfera Geosfera (IGBP), representando assim a classificação mais completa e de interesse nesta pesquisa. Essa classificação apresenta 17 categorias, sendo só 5 as de interesse para a realização desse trabalho. A escolha da utilização do produto MOD12Q1 refere-se à sua disponibilidade, acessibilidade e aplicabilidade com os dados pré-classificados.

As imagens do produto MCD12Q1 do sensor MODIS foram obtidas em formato .hdf. Posteriormente, fez-se a correção das mesmas, do sistema de referência, da localização e do formato compatível com o programa computacional ArcGis 10.4. O *download* e conversão das imagens foi realizado pelo aplicativo *MODISsp*.

O *MODISsp* é um pacote "R", que possibilita automatizar a criação de séries temporais de imagens matriciais derivadas do sensor MODIS. Esse pacote facilita executar várias etapas de pré-processamento, tais como *download*, mosaico, re-projeção e redimensionamento dos produtos MODIS em um determinado período de tempo. As áreas pré-selecionados podem ser obtidas de forma gratuita pelo endereço <https://github.com/lbuset/MODISsp> (BUSETTO; RANGHETTI, 2016).

Não foi possível realizar a correção atmosférica e geométrica das imagens, porque quando foi aplicada a correção houve desaparecimento de grande parte dos *pixels* de interesse.

3.3 – Definição das variáveis de ações antrópicas.

Esse processo teve como função a identificação de quais das 17 classes do IGBP eram causadas pela ação antrópica e quais delas eram consideradas mais

nocivas ao meio ambiente.

Para confirmar a veracidade das informações do sensor foi utilizado o *Google Earth Pro* como uma forma de justificar os pixels.

As classes consideradas causadas por ações antrópicas foram

- Áreas urbanas;
- Solo exposto;
- Gramíneas;
- Áreas agrícolas; e
- Mosaico de áreas agrícolas/vegetação

3.4 - Determinação da distância euclidiana

Para a determinação da distancia euclidiana primeiro as imagens foram vetorizadas pois a estrutura vetorial adota o espaço como contínuo, assumindo que as coordenadas x, y dos pontos são matematicamente exatas. Na forma vetorial qualquer elemento pode ser reduzido a três formas básicas: ponto, linha, área ou polígono (TEIXEIRA, 1992). Depois foi feita a dissolução das classes de uso da terra em 2001 e 2013 e por fim a exportação individual das variáveis antropogênicas de uso da terra. Todos esses passos foram realizados com auxílio do aplicativo computacional ArcGIS 10.4

3.5 – Lógica nebulosa *Fuzzy*

Para que houvesse a padronização dos valores, ou seja, para que todos comesçassem em 0 e terminassem em 1 foi aplicado a lógica nebulosa *Fuzzy* com o auxílio do aplicativo computacional ArcGIS 10.4.

3.6 – Modelagem matemática proposta por Saaty.

O AHP (AHP - do inglês *Analytic Hierarchy Process*) permite estruturar uma decisão em níveis hierárquicos, determinando, por meio da síntese de valores dos

decisores, uma medida global para cada uma das alternativas, priorizando-as ou classificando-as ao final do método (SAATY, 1991).

Foi utilizada matriz de comparação par a par fazendo uso da escala fundamental de Saaty (Tabela 1). O método de elaboração da matriz faz uso de uma escala de comparação, em que se pode definir linearmente a hierarquia de importância entre os fatores pré-definidos (áreas urbanas, solo exposto, gramíneas, áreas agrícolas e mosaico de áreas agrícolas/vegetação).

Segundo Santos (2010) a fase de escolha desses valores é considerada uma das mais importantes de todo o processo de construção, e que para chegar a esses valores o pesquisador pode:

- Utilizar suas experiências, e em visitas de campo, definir a escala de importância.
- Por meio do levantamento bibliográfico comprovar sua tese de que um impacto possui mais importância que o outro.
- Reunir uma equipe multidisciplinar, trabalhando em conjunto, com visitas de campo, debates etc. para definir a escala que mais se aproxima da realidade.

Para o presente estudo, optou-se por unir a ideia de que o levantamento bibliográfico, associado ao debate com especialista de diversas áreas seria possível obter bons resultados.

Certamente que se houvesse a união de todas as três opções o resultado seria ainda mais próximo do real.

Tabela 1- Pesos do modelo de Saaty

VALORES	IMPORTÂNCIA MÚTUA
1/9	Extremamente menos importante que
1/7	Muito fortemente menos importante que
1/5	Fortemente menos importante que
1/3	Moderadamente menos importante que
1	Igualmente importante a
3	Moderadamente mais importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que

Fonte: Saaty (1977), apud Rosot (2000), adaptado.

Com base nesta escala de comparação, foi possível então definir quais seriam os fatores de maior importância, chegando ao seguinte resultado, que pode ser observado na tabela 2

Tabela 2: matriz de comparação pareada

Fatores	Mosaico de áreas agrícolas/vegetação	Áreas agrícolas	Gramíneas	Solo exposto	Áreas urbanas
Mosaico de áreas agrícolas/vegetação	1	1/3	1/5	1/7	1/9
Áreas agrícolas	3	1	1/3	1/5	1/7
Gramíneas	5	3	1	1/3	1/5
Solo exposto	7	5	3	1	1/3
Áreas urbanas	9	7	5	3	1

Para obter-se os pesos para cada variável (tabela 3), dividiu-se cada elemento da Tabela 4 pelo somatório dos elementos da cada coluna da qual ele faz parte e, posteriormente, calculou-se a média aritmética dos valores pertencentes a cada linha.

Tabela 3- Pesos calculados.

FATORES	Pesos
Mosaico de áreas agrícola/vegetação	β_5
Áreas agrícolas	β_4
Gramíneas	β_3
Solo exposto	β_2
Áreas urbanas	β_1

Foi necessário fazer uma avaliação para saber se realmente os pesos calculados são reais. Para tal, realizou-se o cálculo da Razão de Consistência (RC) pela Equação 2. Para o peso ser consistente ele deve apresentar um valor de RC menor do que 0,10.

$$RC = IC \div IR \quad (1)$$

Onde:

RC - Razão de consistência;

IR - Índice aleatório que é definido pela Tabela 4;

IC - Índice de Consistência, calculado pela Equação 2:

$$IC = (\lambda_{max} - n) \div (n - 1) \quad (2)$$

Em que:

n - Número de variáveis testadas, que correspondem ao número de linhas e colunas da Tabela 3;

λ_{max} - Autovetor calculado pela Equação 3:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \frac{\{Aw\}_i}{w} \quad (3)$$

Onde:

$\{Aw\}_i$ - Matriz resultante do produto da matriz de comparação pareada (Tabela 3), pela matriz dos pesos calculados;

W - Pesos calculados.

Tabela 4- Valores de IR para matrizes quadradas de ordem n.

n	2	3	4	5	6	7
IR	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32

Fonte: *Laboratório Nacional de Oak Ridge, EUA.*

Para calcular a RC, foram feitos os seguintes passos:

1. Multiplicação da matriz de comparação pela matriz dos pesos;
2. Cálculo do autovetor λ_{max} ;
3. Cálculo do IC;
4. Cálculo do IR;
5. Por fim, calculou-se a razão de consistência para o modelo, tendo em vista que esse valor deve ser menor que 0,10.

3.7 – Determinação dos pesos das variáveis

Após determinados os pesos matemáticos das variáveis foi feito o cálculo da vulnerabilidade a ações antrópicas por meio da Equação 1 para poder ser gerado os mapas dos anos de 2001 e 2013.

$$VAA = \beta_1.fuzzy\ 1 + \beta_2.fuzzy\ 2 + \beta_3.fuzzy\ 3 + \beta_4.fuzzy\ 4 + \beta_5.fuzzy\ 5 \quad (4)$$

Onde:

VAA - Vulnerabilidade a ações antrópicas;

β_n – Peso definido pelo modelo de AHP respectivo a variável n ;

Fuzzy n – Mapa gerado por lógica nebulosa Fuzzy da variável n;

Esses cálculos foram realizados no aplicativo computacional ArcGIS 10.4, na ferramenta *Raster Calculator*.

Os mapas gerados apresentam diversas classes, para a padronização e para melhor entender a vulnerabilidade antrópica do bioma, os mapas foram reclassificados por meio dos postos de Jenks em 5 categorias (baixa-baixíssima, baixa, média, alta e alta-altíssima).

3.8 – Modelagem Land change

Após determinar todos os pesos e classes dos mapas de 2001 e 2013 para a região do bioma Amazônia, foi feito a separação dos estados, pertencente ao bioma, com o auxílio do *software* ArcGis 10.4 Essa separação foi realizada com a ferramenta *Extract by mask* para se saber como está o comportamento de cada estado após o passar dos anos.

Para realizar a comparação foi utilizada a ferramenta *Land Chance Modeler* dentro do aplicativo computacional TerrSet. As imagens geradas no ArcGIS 10.4 dos nove estados dos anos de 2001 e 2013 foram exportadas para o TerrSet e convertidas dentro desse software para um formato compatível. Feita a conversão foi realizada a comparação das imagens dos anos de 2001 e 2013 para cada estado

individualmente. Depois disso foram obtidos os valores das variações líquidas de cada categoria dos estados. Esses valores foram transcritos para o Excel, onde foram criados os gráficos das variações líquidas para cada estado.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Justificativa dos pesos das variáveis

Foi definido áreas urbanas como mais influente, pois os impactos causados são em maior quantidade e mais nocivos que os impactos causados pelas outras classes. Como por exemplo, as pessoas que vivem nesses locais podem poluição dos recursos hídricos, poluição sonora, impermeabilização do solo além de poder contaminar com resíduos tóxicos.

Em segundo está a classe solo exposto, pois os solos sem cobertura ficam vulneráveis a erosão e lixiviação, podendo perder a camada superficial, que na Amazônia, é a mais fértil, visto que o solo da região é pobre.

Em terceiro está às gramíneas, pois como dito anteriormente o solo da região é pobre e se mantem com a ciclagem de nutrientes. Sem a vegetação nativa essa ciclagem diminui, causam maior empobrecimento do solo.

Em quarto estão as áreas agrícolas, porque assim como nas gramíneas, nas áreas agrícolas a ciclagem de nutrientes diminui. Porém na maioria das vezes há o enriquecimento do solo com adubos.

A classe considerada menos influente ao meio ambiente foi o mosaico de áreas agrícola/vegetação. Esta classe mantem ainda uma parte das árvores, favorecendo assim, a ciclagem de nutrientes.

4.2 – Mapas da distância euclidiana

Os mapas gerados para 2001 e 2013, seguem nas Figuras 3 e 4 respectivamente. A paleta de cor escolhida foi a arco-íris, sendo que a cor vermelha indica maior influência da ação antrópica e a cor azul menor influência.

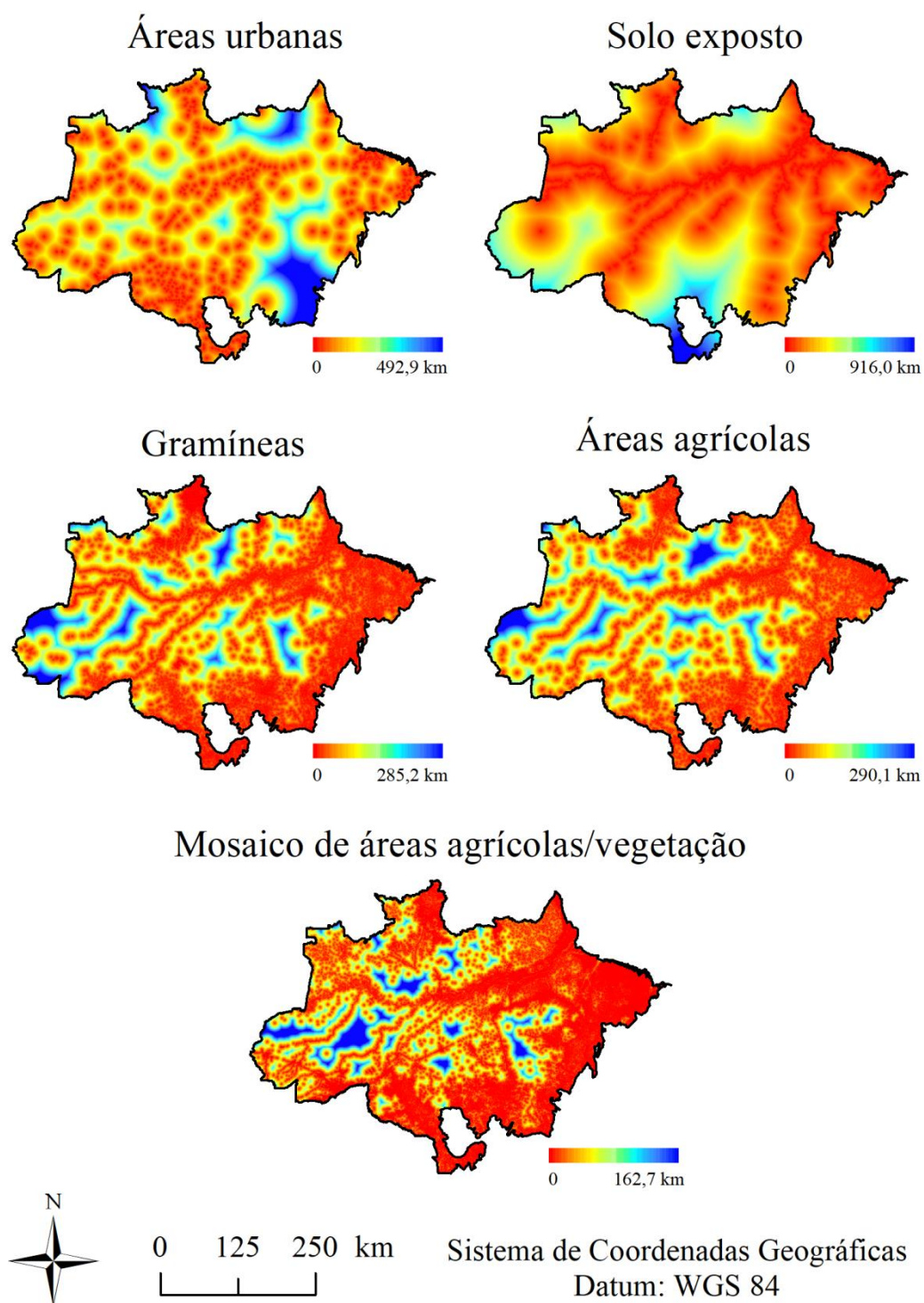


Figura 3 - Distância euclidiana das variáveis das ações antrópicas de 2001.

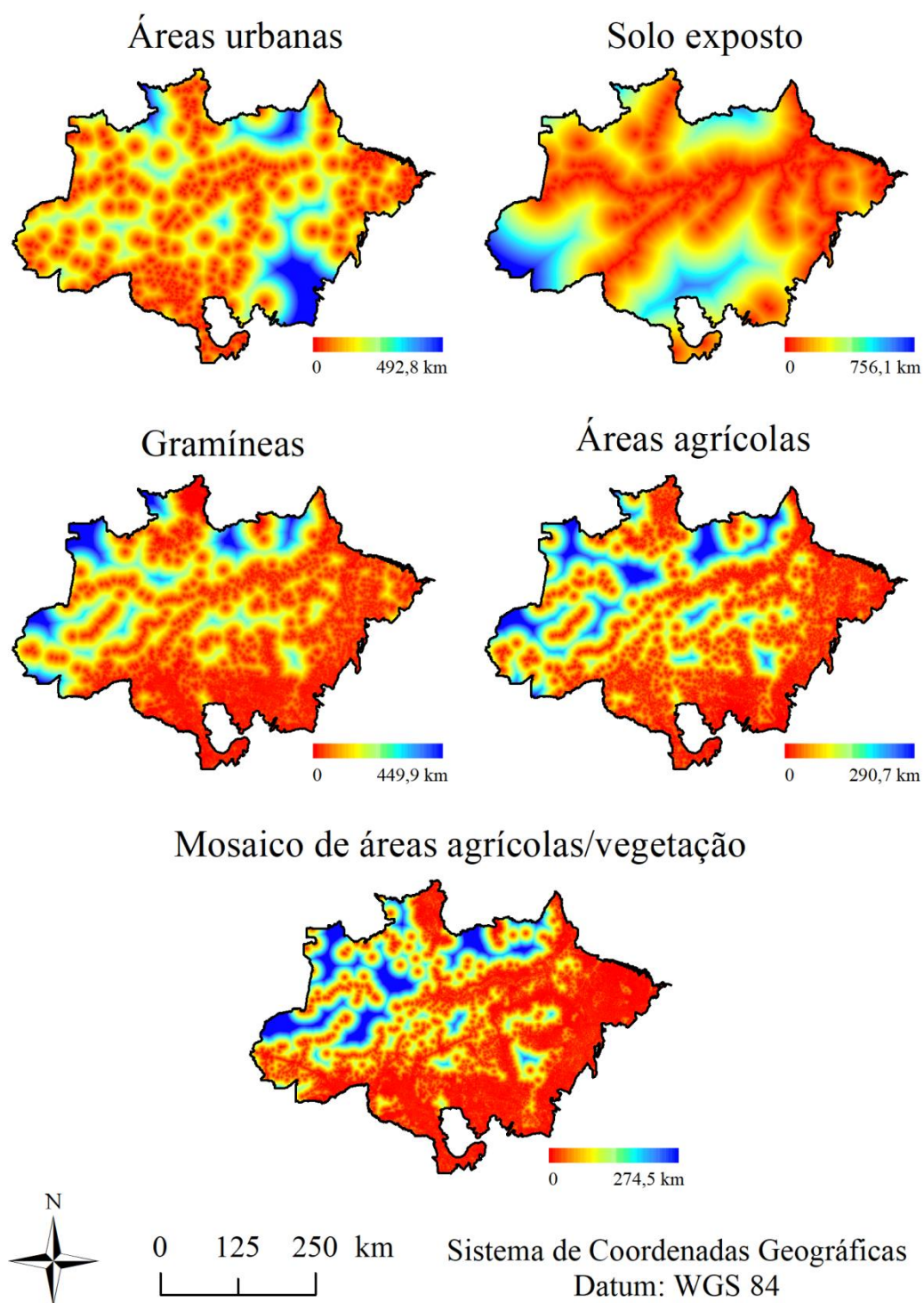


Figura 4 - Distância euclidiana das variáveis das ações antrópicas de 2013.

A classe solo exposto apresentou a maior distância euclidiana em 2001, o que indica que houve áreas que essa variável não exercia influência. Porém em 2013 essa distância diminuiu, o que indica que ela está influenciando mais na

vulnerabilidade do bioma. A região que tinha menos influência dessa classe em 2001 era a região sudoeste do Mato Grosso. Porém em 2013, essa área que era azul, agora está amarela, o que indica aumento da influência de solo exposto. Isso pode ter ocorrido devido ao aumento do desmatamento no estado de Mato Grosso estar na área do arco do desmatamento, onde cada vez mais as grandes fazendas de grãos expandem suas fronteiras.

4.3 – Variáveis Fuzzy

Para a padronização dos valores dos mapas foi utilizado a lógica Fuzzy, onde 0 é mais próximo da ação antrópica e 1 a maior distância da ação. As funções de pertinência para cada ação antrópica se localizam nas Figuras 5 e 6 para 2001 e 2013, respectivamente.

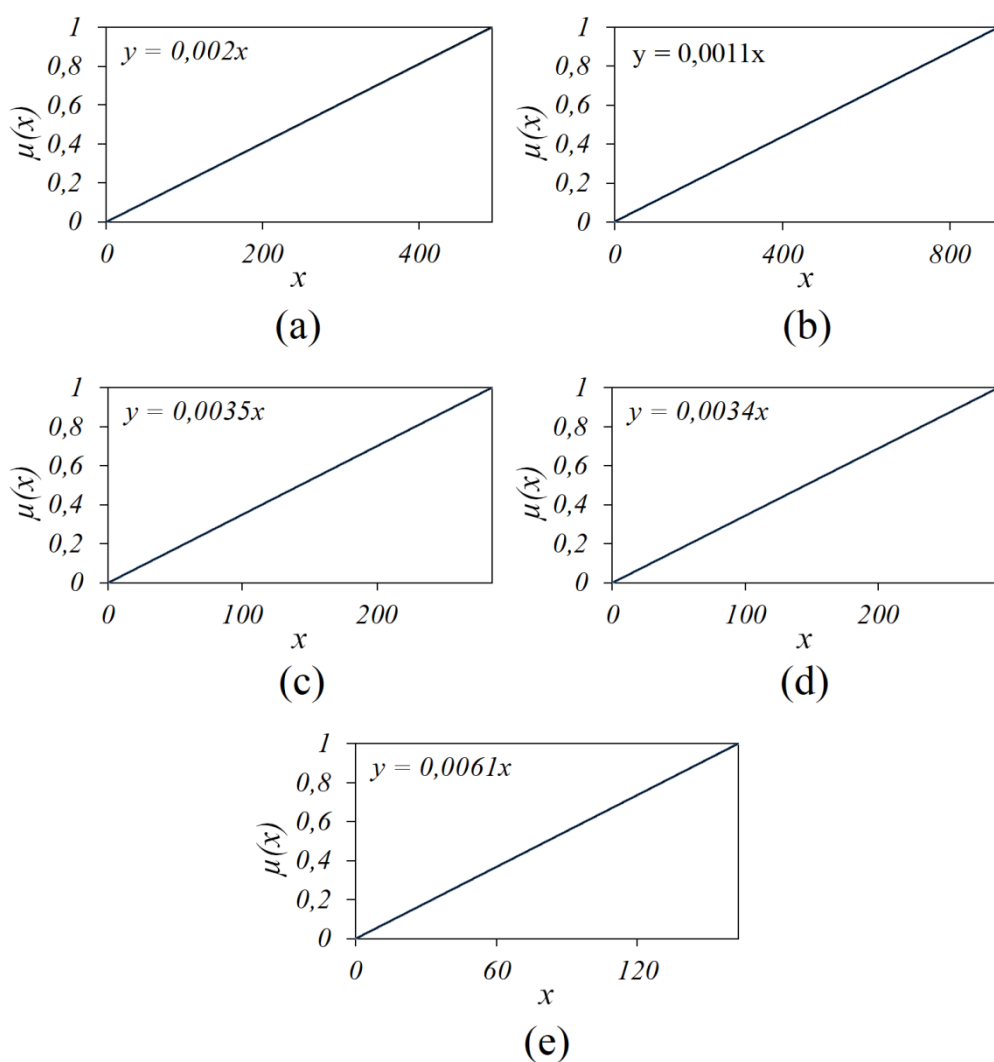


Figura 5 - Funções de pertinência das variáveis das ações antrópicas de 2001.

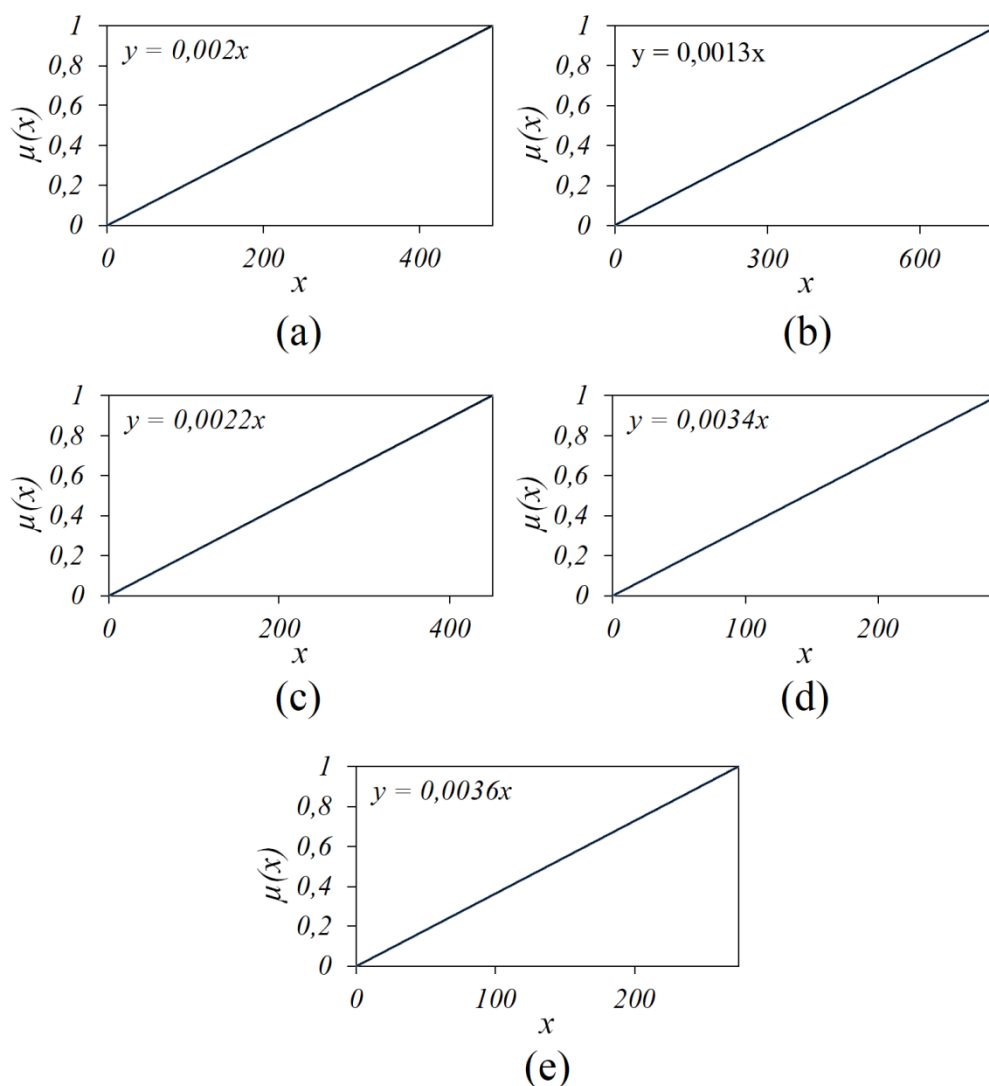


Figura 6 - Funções de pertinência das variáveis das ações antrópicas de 2013.

Nas Figuras 5 e 6 o eixo x apresenta os valores das distâncias euclidianas de cada variável e no eixo $\mu(x)$ está o novo valor assumido por essa variável. Dentro de cada gráfico está a fórmula que é usada para a conversão da distância euclidiana para o novo valor da lógica Fuzzy.

Após a geração das funções de conversão, os valores dos mapas foram convertidos para no mínimo 0 e no máximo 1, conforme se observa na Figura 7 para 2001 e na Figura 8 para 2013

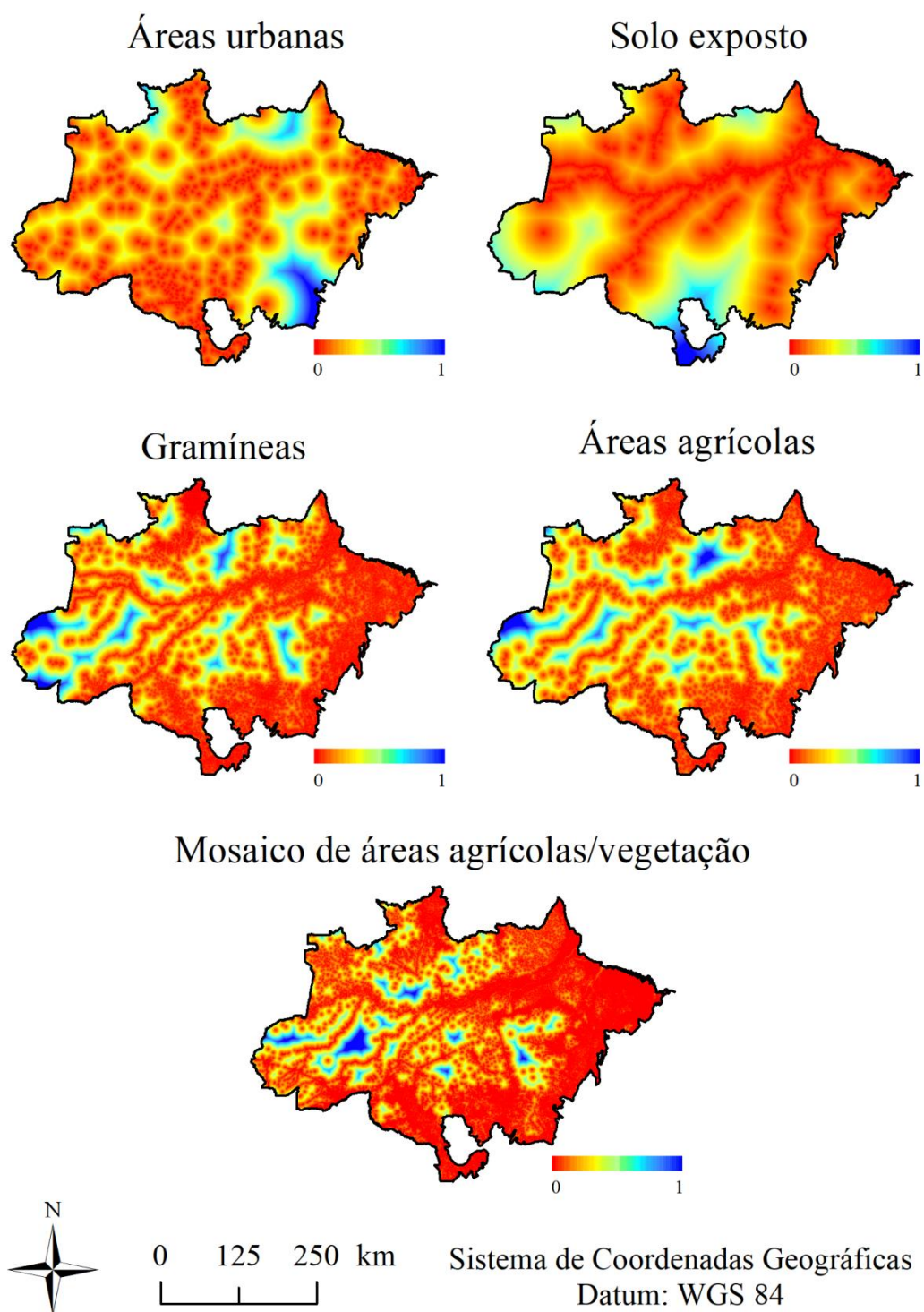


Figura 7 - Novos valores, de 0 a 1, para as ações antrópicas de 2001.

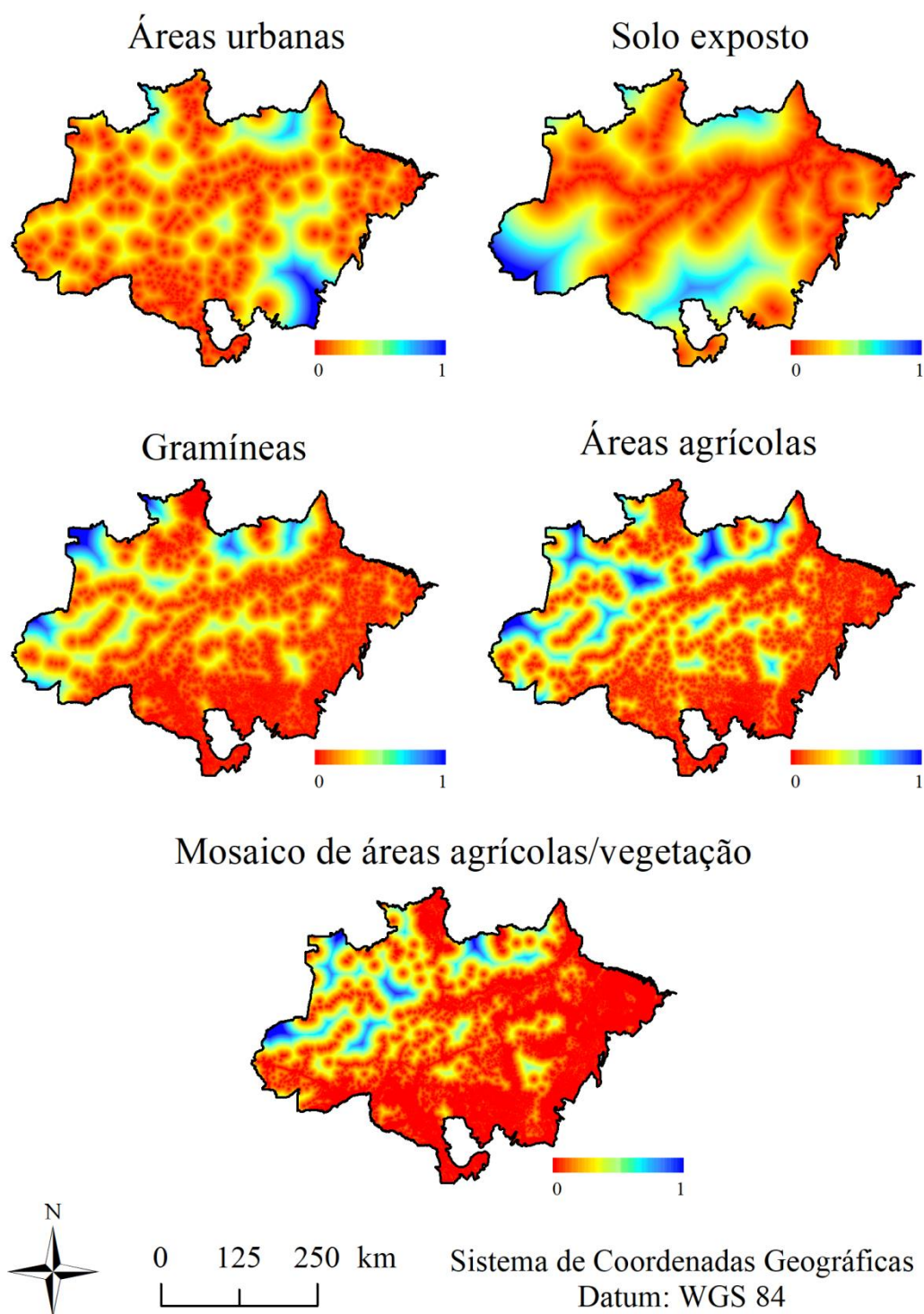


Figura 8 - Novos valores, de 0 a 1, para as variáveis das ações antrópicas de 2013.

4.4 – Definição dos pesos matemáticos das variáveis.

Após o cálculo dos pesos matemáticos das variáveis os resultados obtidos estão contidos na Tabela 5.

Tabela 5 - Pesos matemáticos das variáveis para a equação de vulnerabilidade ambiental

Variável	Pesos
Mosaico de áreas agrícola/vegetação	0.0333
Áreas agrícolas	0.0634
Gramíneas	0.1290
Solo exposto	0.2615
Áreas urbanas	0.5128

A razão de consistência tem que ficar em menos de 0,1, o calculado no respectivo trabalho foi de 0,05, ou seja, os pesos são aceitáveis.

4.5 – Mapa final da vulnerabilidade antrópica.

Para o cálculo das variáveis do mapa final, foi utilizada a fórmula ajustada com os pesos calculados, conforme a fórmula seguinte:

$$VAA = 0,5128.fuzzy\ VAR\ 01 + 0,2615.fuzzy\ VAR\ 02 + 0,1290.fuzzy\ VAR\ 03 + 0,0634.fuzzy\ VAR\ 04 + 0,0333.fuzzy\ VAR\ 05$$

Após a definição dos valores os mapas gerados foram agrupados em 5 grupos (baixa – baixíssima, baixa, média, alta, alta – altíssima) de acordo com os postos de Jenks, o resultado final pode ser observado na Figura 9 para 2001 e na Figura 10 para 2013.

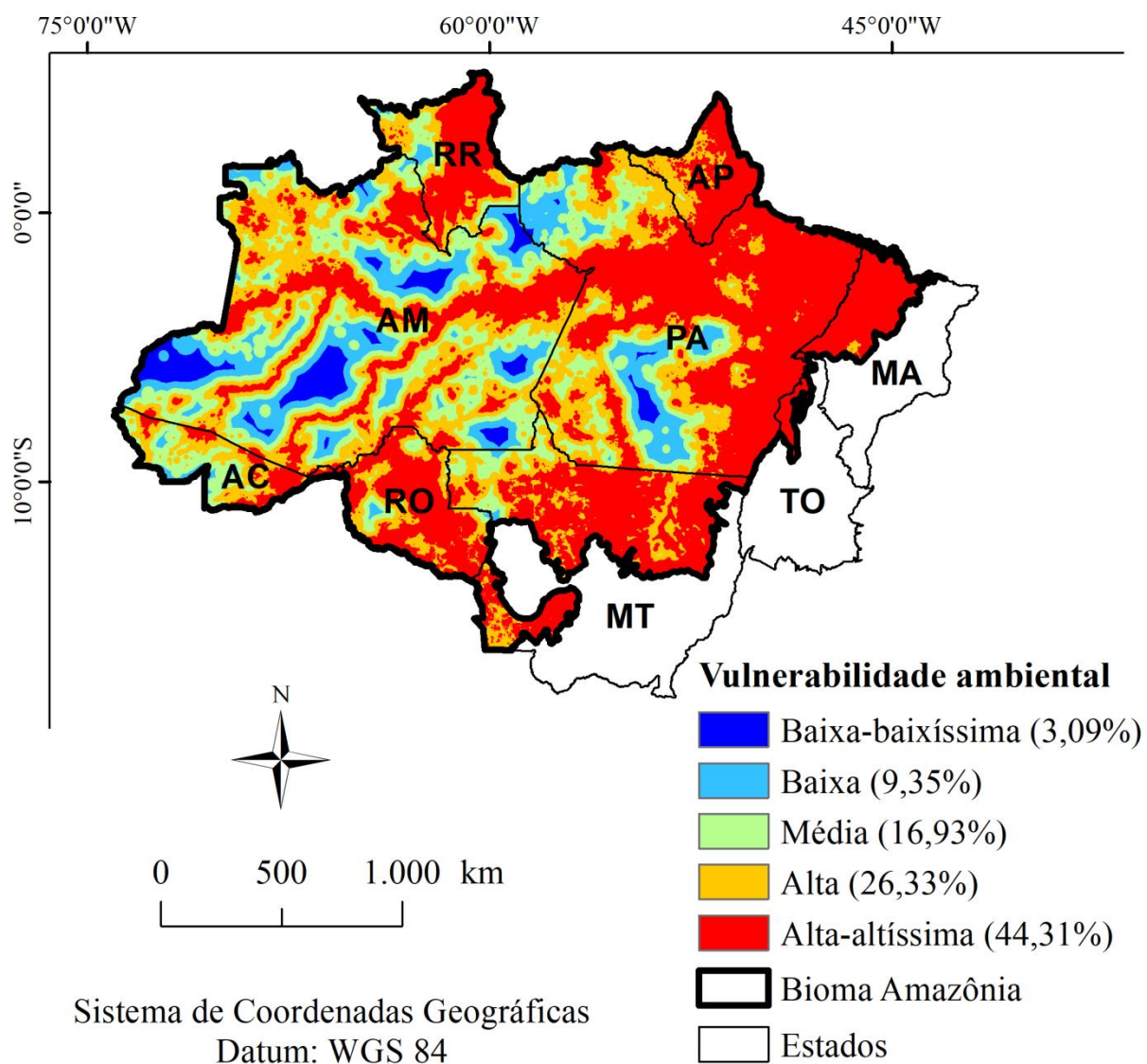


Figura 9: mapa final das classes para o ano de 2001

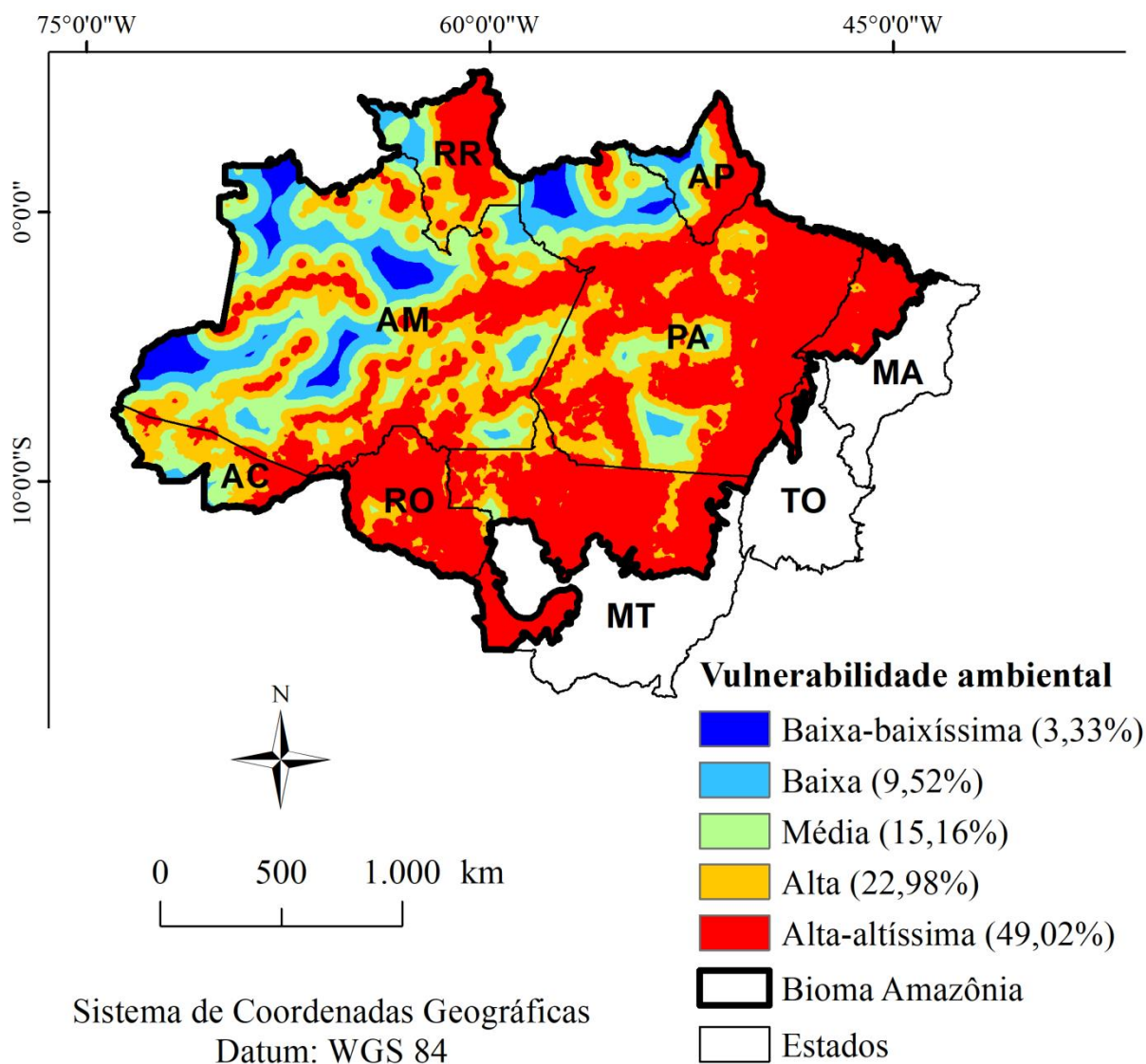


Figura 10 - Mapa final das classes para o ano de 2013

Através da comparação dessas imagens pode-se perceber que as classes de alta – altíssima vulnerabilidade ao longo dos rios estiveram presentes desde 2001, isso porque os rios nessa região são uma das principais formas de transportes de pessoas e cargas, com maior proximidade dos cursos d' água mais fácil a irrigação das lavouras e melhor para a criação de rebaho.

Um lugar em que houve o aumento das classes de alta – altíssima vulnerabilidade foi ao longo do arco do desmatamento, que se localiza nos estados do Pará, Maranhão, Mato Grosso, Tocantins e Rondônia.

4.6 – Variação por estado da Amazônia brasileira

Depois de feita a classificação em classes pelos postos de Jenks, os estados do bioma foram separados e sua porcentagem calculada para a comparação entre eles. Os mapas obtidos podem ser observados nas figuras 11 e 12 para 2001 e 2013, respectivamente. Os gráficos isolados com as porcentagens podem ser observados nas figuras 13 e 14 para 2001 e 2013 respectivamente.

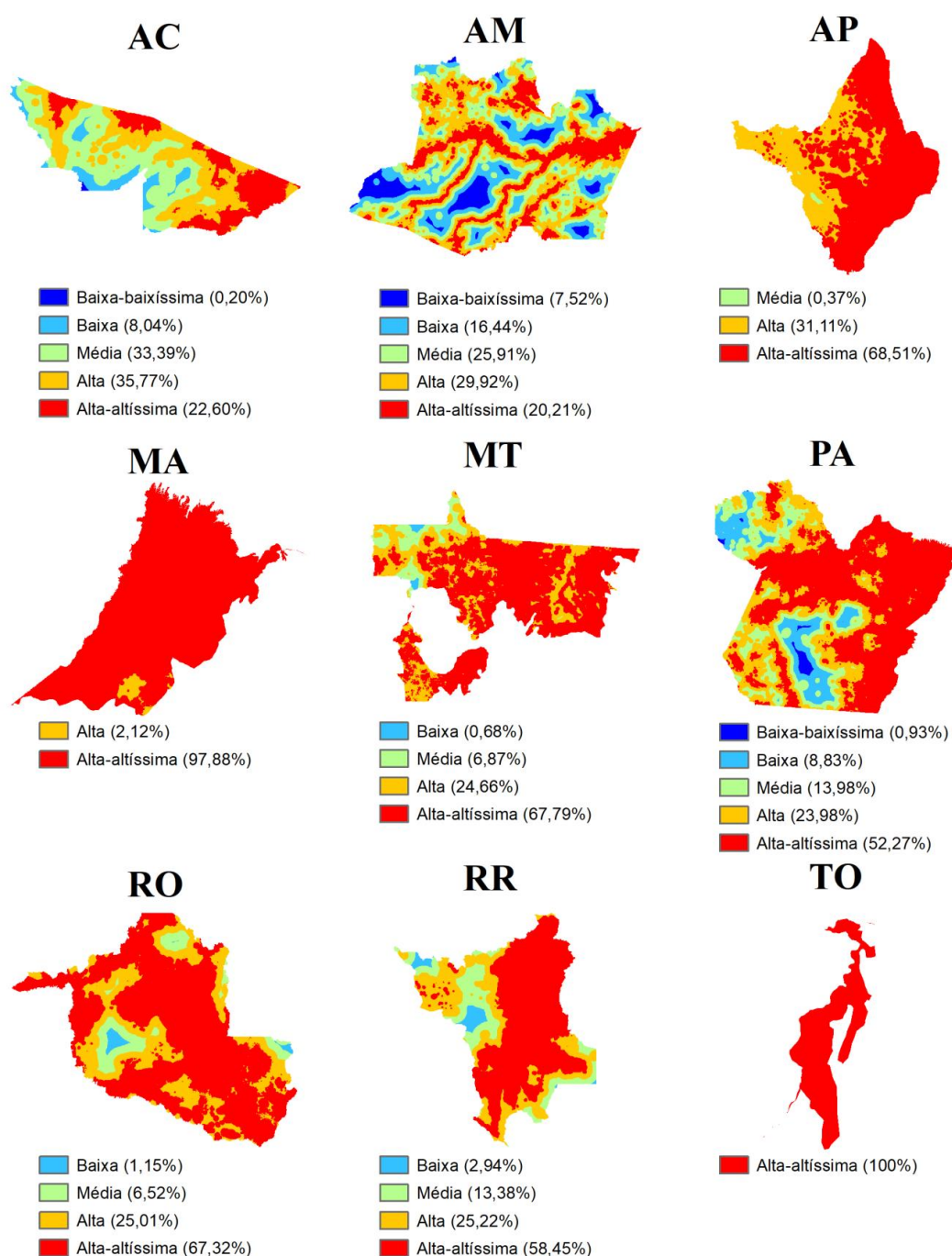


Figura 11 - Estados do bioma e suas classes em porcentagem de 2001

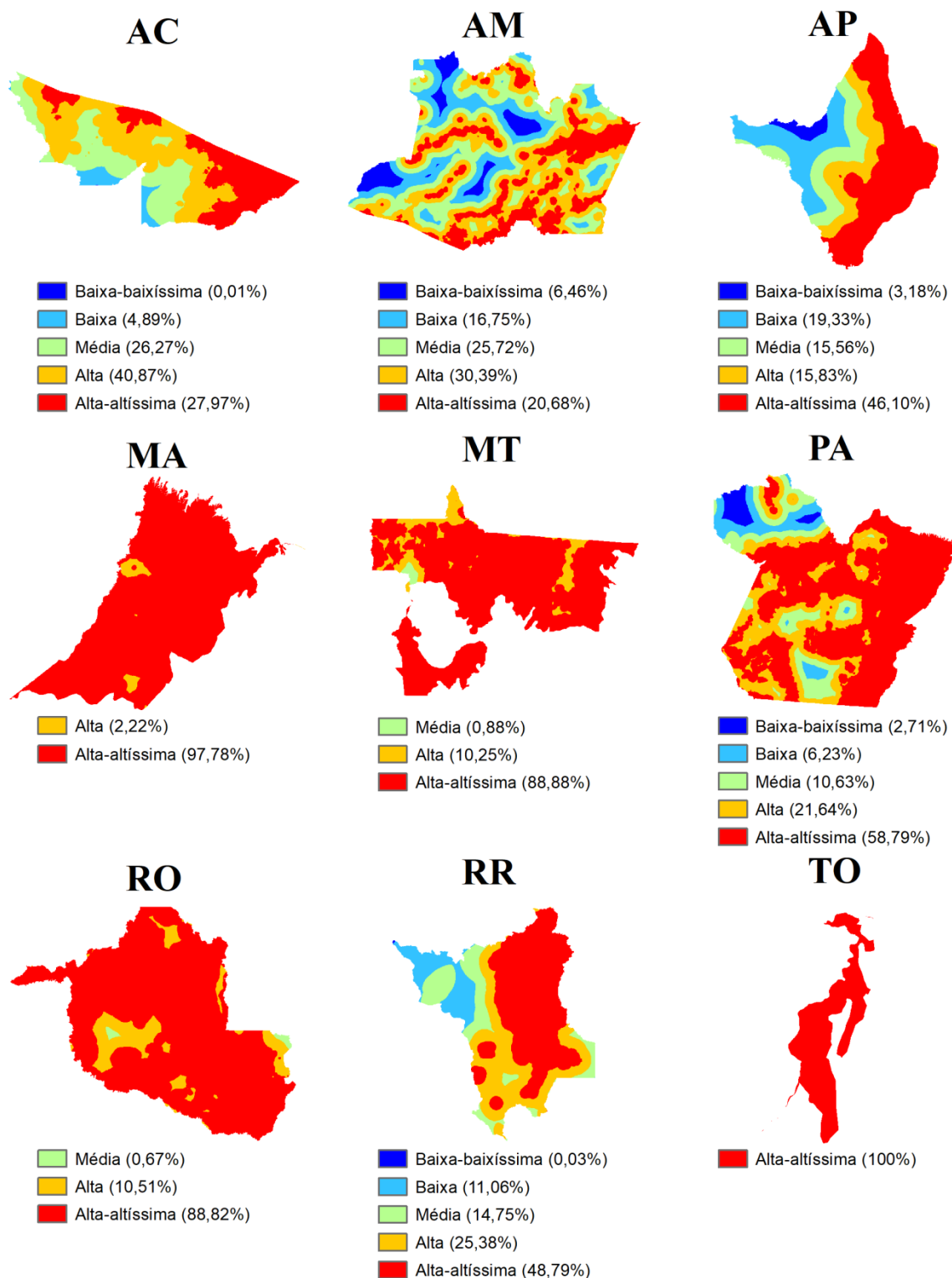


Figura 12 - Estados do bioma e suas classes em porcentagem de 2013

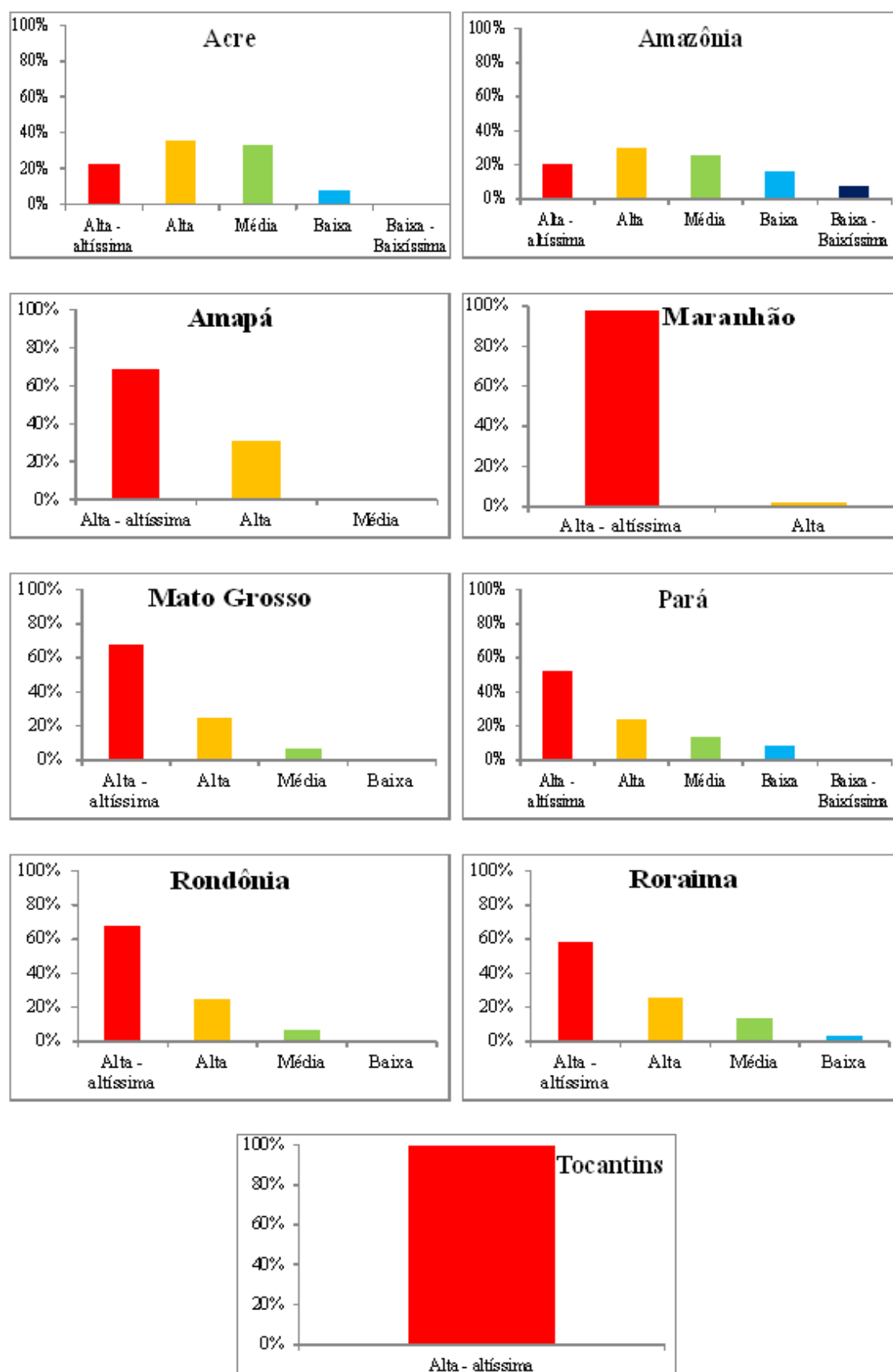


Figura 13 - Porcentagem de cada classe de vulnerabilidade nos estados do bioma em 2001

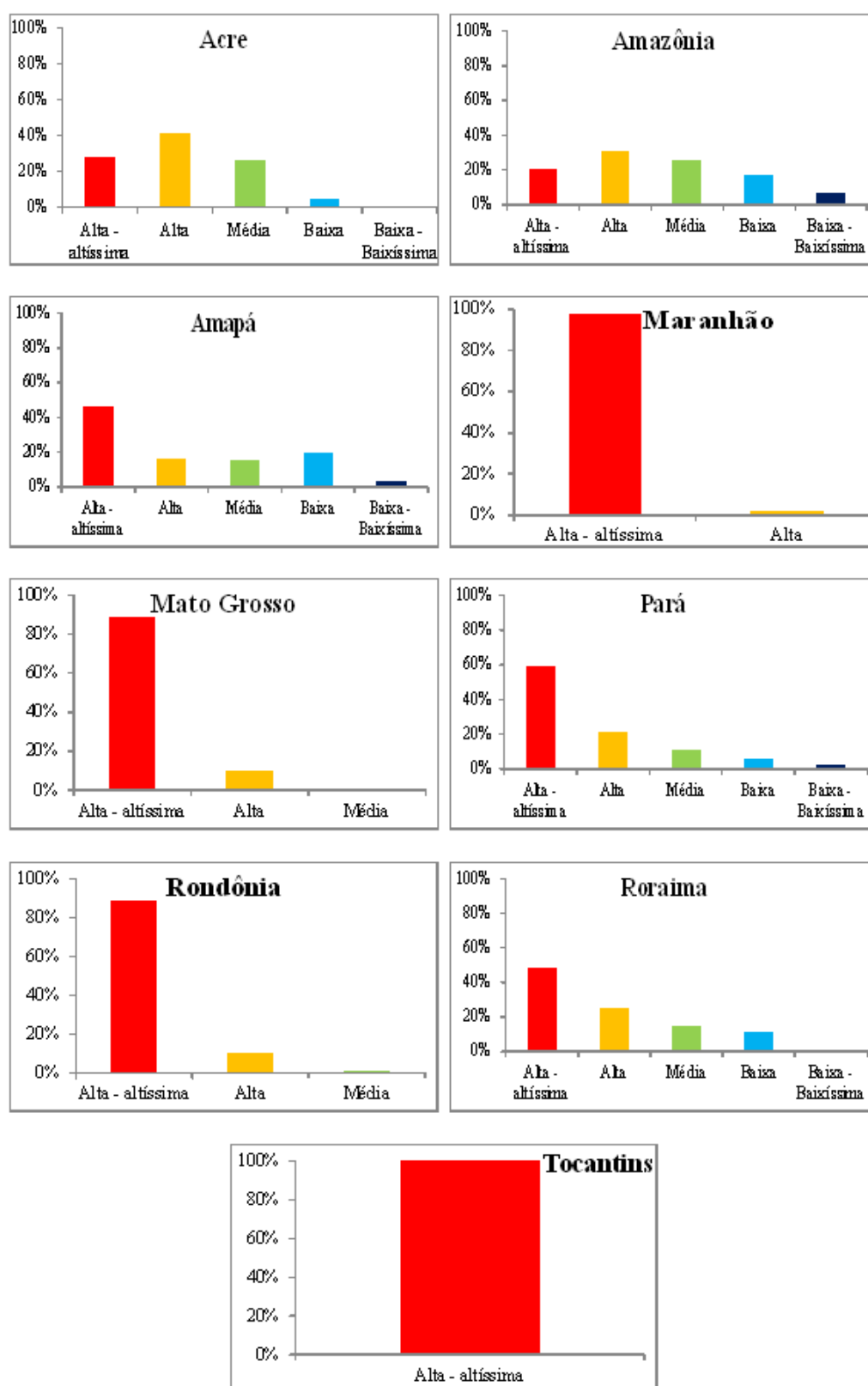


Figura 14 - Porcentagem de cada classe de vulnerabilidade nos estados do bioma em 2013

Observa - se que nos estados de Tocantins não houve alteração perceptível. Os estados do Acre, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso e Rondônia tiveram aumento na classe de risco alta – altíssima e os estados do Amapá, Pará e Roraima houve uma diminuição da classe alta – altíssima.

Rondônia perdeu a classe baixa, e a classe alta – altíssima houve um aumento de quase 20%, o que pode indicar que houve um aumento da vulnerabilidade antrópica nesse estado. Segundo PIONTEKOWSKI et al., (2014), houve um aumento substancial do desmatamento ilegal ocorrido entre os anos de 2002 e 2011 no Estado de Rondônia. Ainda segundo o mesmo autor, o desmatamento aumentou 400% entre 2002 e 2011 em relação ao total desmatado até 2001, dentro de áreas protegidas em Rondônia. O que corrobora com os dados obtidos com esse trabalho.

Em Mato Grosso também houve perda da classe baixa e houve um aumento de aproximadamente 20% na classe alta – altíssima. Segundo LEMOS; SILVA, (2011), os Estados com maior perda de Bioma Amazônia são Mato Grosso e Tocantins, o que condiz com as informações obtidas com esse trabalho.

4.7 – Comparação das variáveis no TerrSet

Feita a comparação das imagens no aplicativo computacional TerrSet, foi obtido as variações líquidas de cada classe para cada estado entre os anos de 2001 e 2013. Os valores podem ser vistos na Tabela 6 e na Figura 15, sendo os valores obtidos em km²

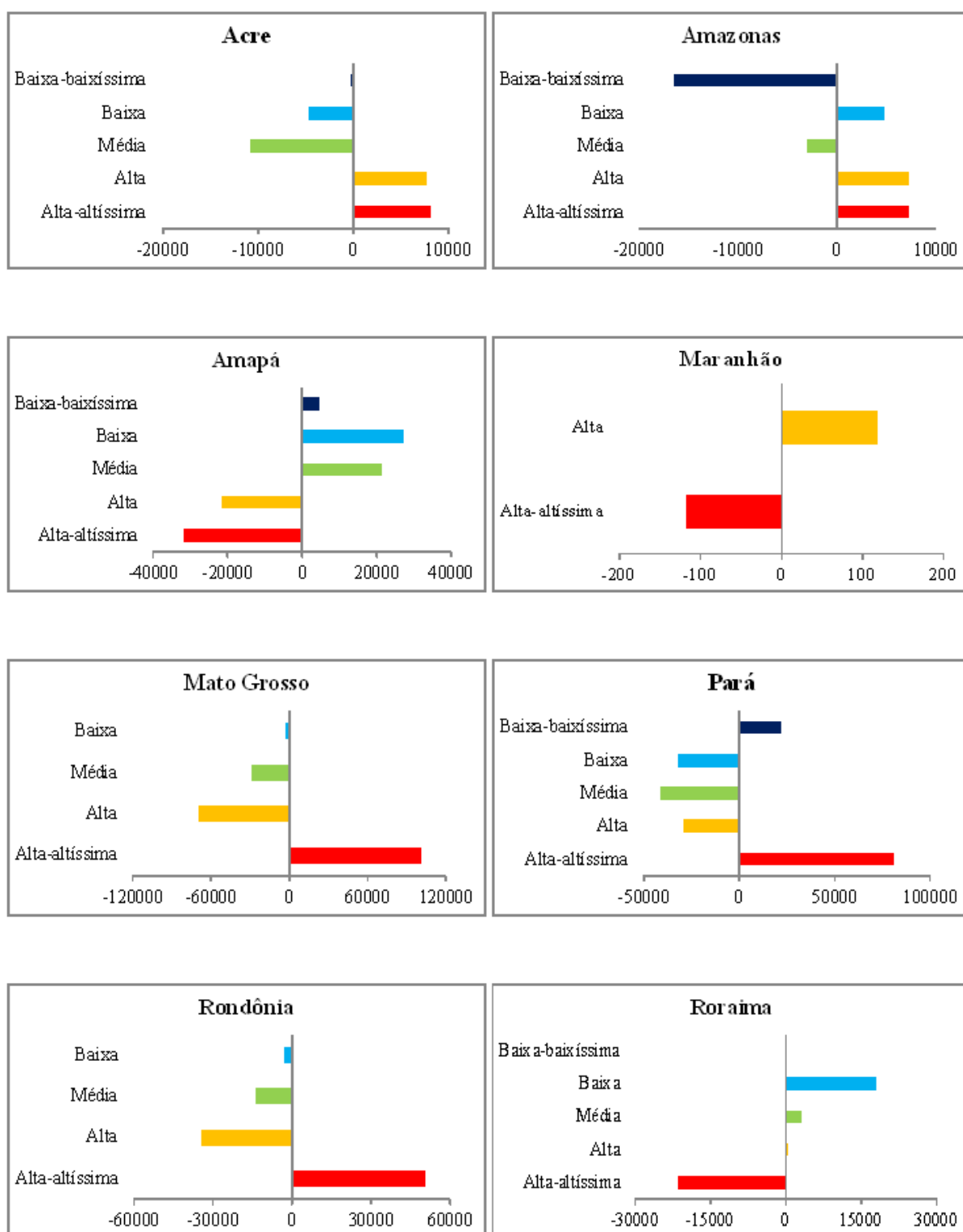


Figura15 - Variação líquida das classes de risco entre os anos de 2001 e 2013 em km².

Tabela 6 - Variações líquidas para os estados da Amazônia entre os anos de 2001 e 2013 em km².

	Classes					
	Km ²	Alta-altíssima	Alta	Média	Baixa	Baixa-baixíssima
Estados	Acre	8.149,9	7.724,7	-10.796,2	-4.788,2	-290,2
	Amazonas	7.299,1	7.281,3	-3.015,4	4.880,2	-16.445,2
	Amapá	-31.787,5	-21.674,4	21.535,9	27.409,9	4.516,1
	Maranhão	-118,1	118,1	-	-	-
	Mato Grosso	101.100,1	-69.090,1	-28.730,2	-3.279,9	-
	Pará	81.010,3	-29.098,3	-41.587,9	-32.318,3	21.994,2
	Rondônia	50.747,8	-34.231,5	-13.798,5	-2.717,9	-
	Roraima	-21.550,9	358,4	3.036,7	18.099,3	56,5

Pode - se observar que no estado do Maranhão houve uma diminuição das classes alta – altíssima entre os anos comparados, o que não condiz com os estudos feitos por LEMOS; SILVA, (2011), que dizem que o estado do Maranhão é o quarto estado da Amazônia que mais desmata a Floresta Amazônica. Essa diferença de dados pode ter ocorrido devido à troca das categorias pelo sensor MODIS ou pela não consideração de uma categoria como sendo causada por ações antrópicas.

Já nos estado do Mato Grosso só houve aumento da classe alta – altíssima, o que é um alerta de que a floresta Amazônica nesse estado está correndo sério risco. Segundo LEMOS; SILVA, (2011) o estado do Mato Grosso foi o que apresentou maior taxa de desmatamento da Amazônia. Isso ocorre devido ao aumento das grandes fazendas produtoras de grãos e de pecuária que vem expandindo suas fronteiras e desmatando cada vez mais.

No estado do Pará houve um aumento de aproximadamente 80.000 km² da classe alta – altíssima, o que pode ser explicado por ele se encontrar na área do arco do desmatamento. Segundo os dados encontrados por CARVALHO et al., (2013) o Pará é o segundo estado que mais desmata, só perde para o Mato Grosso.

Outro estado que houve um aumento da classe alta – altíssima foi o estado de Rondônia, houve um aumento de aproximadamente 50.000 km², pois esse é outro estado que se localiza no arco do desmatamento.

No estado do Amapá houve a maior diminuição das classes alta – altíssima e alta vulnerabilidade, isso pode ter acontecido porque nesse estado houve a criação de grandes áreas de unidade de conservação entre os anos de 2002 e 2006, ou pode ter acontecido à confusão dos pixels pelo sensor MODIS ou faltou à classificação de alguma variável do sensor como sendo variável antrópica.

No estado de Roraima houve uma diminuição da classe alta – altíssima, que pode ser explicado porque em 1998 ocorreu um grande incêndio no estado que acabou com parte da vegetação. No ano de 2001 possivelmente a floresta ainda estava em regeneração, já em 2013 a floresta já deveria estar mais desenvolvida, o que explicaria o aumento das classes de menor vulnerabilidade.

5 – Conclusões

- As áreas mais ao sul da Amazônia foram as que apresentaram as maiores porcentagens de vulnerabilidade devido a sua maior proximidade com as áreas urbanas.
- Os estados do sul da Amazônia, Pará, Tocantins, Mato Grosso, Maranhão e Rondônia, devido a sua maior infraestrutura foram os que mais aumentaram às classes de vulnerabilidade a ação antrópica.
- O estado do Mato Grosso e do Pará foram os que mais aumentaram a classe alta – altíssima vulnerabilidade.
- O estado do Amapá foi o que mais apresentou o aumento da classe baixa – baixíssima vulnerabilidade
- No Amazonas as maiores classes de vulnerabilidade foram ao longo do rio devido a facilidade de transporte.

REFERÊNCIAS

- BARKER, J.L.; HARDEN, M.K.; ANUTA, E.A.; SMID, J. E HOUGHT, D. MODIS spectral sensitivity study: requirements and characterization. Washington: Nasa, Oct, 1992, 84p
- CAMPOS, S.; JUNIOR, A. A. A.; BARROS, Z. X.; CARDOSO, L. G.; PIROLI, E. L. SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO APLICADOS AO USO DA TERRA EM MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS, BOTUCATU - SP SÉRGIO. **Eng Agri Jaboticabal**, v. 24, p. 431–435, 2004.
- CARVALHO, T. S.; MAGALHÃES, A.; DOMINGUES, E. P. Desmatamento e a contribuição econômica da floresta na Amazônia. **XI Encontro Nacional da Associação Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos - ENABER, 2013, Foz do Iguaçu.**, v. 46, p. 1–20, 2013.
- Chambers, J.Q., Artaxo, P., 2017. Biosphereatmosphere interactions: Deforestation size influences rainfall. **Nat. Clim. Chang.** 7, 175–176.doi:10.1038/nclimate323
- DINIZ, M. B.; OLIVEIRA JUNIOR, J. N. DE; NETO, N. T.; DINIZ, M. J. T. Causas do desmatamento da Amazônia: Uma aplicação do teste de causalidade de Granger acerca das principais fontes de desmatamento nos municípios da Amazônia Legal brasileira. **Nova Economia**, v. 19, n. 1, p. 121–151, 2009.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Manuais técnicos em geociências nº 07 – **Manual Técnico de Uso da Terra**. 2ª edição. Rio de Janeiro. ISSN 0103-9598. (2006). Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 05 de dezembro de 2017.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) - 2012. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 de dez. 2017.
- JOSÉ, C.; BACHA, C. Os processos de desenvolvimento e desmatamento da Amazônia. **Economia e Sociedade**, v. 20, n. 1, p. 601–636, 2011.
- JUSTICE, C.; VERMOTE, E.; TOWNSHEND, J. R. G.; DEFRIES, R.; ROY, D.; HALL, D.; SALOMONSON, V.; PRIVETTE, J.; RIGGS, G.; STRAHLER, A.; LUCHT, W.; MYNENI, R.; KNYAZIKHIN, Y.; RUNNING, S.; NEMANI, R.; WAN, Z.; HUETE, A.; LEEUWEN, W. V.; WOLFE, R.; GIGLIO, L.; MULLER, J.-P.; LEWIS, P.; BARNESLEY, M. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on**, v. 36, n. 4, p. 1228-1249. 1998.
- LEMOES, A. L. F.; SILVA, J. DE A. Desmatamento na Amazônia Legal: Evolução, Causas, Monitoramento e Possibilidades de Mitigação Através do Fundo Amazônia. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 1, p. 98–108, 2011. Disponível em:

<<http://www.floram.org/articles/view/id/4ff1c2231ef1faee0f00000f>>. .

LIMA, D.; CRUZ, D. S. Solos da Amazônia : etnopedologia e desenvolvimento sustentável Soils of the Amazon : etnopedology and sustainable development. , p. 158–165, 2011.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Moderate resolution imaging spectro radiometer**. 2010. Disponível em:<<http://modis.gsfc.nasa.gov/>>. Acesso em: 10 dez. 2017.

NOVO, E. M. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 1989. 308 p.

OLIVEIRA, F. B. D. E. **Utilização de lógica fuzzy na geração de zonas de manejo**. , 2014.

PIONTEKOWSKI, V. J.; MATRICARDI, E. A. T.; PEDLOWSKI, M. A.; FERNANDES, L. C. Avaliação do desmatamento no estado de Rondônia entre 2001 e 2011. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 3, p. 297–306, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-80872014000300003&lng=pt&tlng=pt>. .

RIVERO, S.; ALMEIDA, O.; ÁVILA, S.; OLIVEIRA, W. Pecuária e desmatamento: Uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. **Nova ROCHA**, C. H. B. Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar. 2. ed. Juiz de Fora-MG: Ed. do Autor, 2002. 220 p.

ROSA, R. **Geotecnologias na geografia aplicada**. Revista do Departamento de Geografia, n. 16, p. 81-90, 2005.

ROSOT, M. A., BARCZAK, C. L. e COSTA, D. M. B. **Análise da vulnerabilidade do manguezal do Itacorubi à ações antrópicas utilizando imagens de satélite e técnicas de geoprocessamento**. Florianópolis. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. 2000. Disponível em: <<http://www.geodesia.ufsc.br>>. 2003

SANTOS, A. R. dos. **Caracterização morfológica, hidrológica e ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Sujo, Micro-Região de Viçosa, MG**. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. Tese.2001.

SOUZA, C. DE; MOREIRA, D. A.; SCHIMITH, S. **TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO COMO SUBSÍDIOS AOS ESTUDOS DE FLORESTAS IMPLANTADAS NO BRASIL – UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**. , 2007.

STRAHLER, A., D. MUCHONEY, J. BORAK, F. FRIEDL, S. GOPAL, L. LAMBIN, AND A. MOODY (1999): **MODIS Land Cover Product Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)**, Disponível em:<http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod12.pdf, 72 pp. >. Acessado em 10/12/2017 file:///C:/Users/usuario/Downloads/284_042_landcover.pdf

VAEZA, R. F.; OLIVEIRA FILHO, P. C. DE; MAIA, A. G.; DISPERATI, A. A. **Uso e Ocupação do Solo em Bacia Hidrográfica Urbana a Partir de Imagens -Orbitais de Alta Resolução**. Floresta e Ambiente, v. 17, n. 1, p. 23–29, 2010.

TEIXEIRA, A. L. A; MORETTI, E; CHRISTOFOLETTI, A. 1992. **Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica**. Edição do Autor, Rio Claro, 80 p.

VASCONCELOS, C. H.; NOVO, E. M. L. DE MORAES; DONALISIO, M. R. Uso do sensoriamento remoto para estudar a influência de alterações ambientais na distribuição da malária na Amazônia brasileira Use of remote sensing to study the influence of environmental changes on malaria distribution in the Brazilian Amazon. , v. 22, n. 3, p. 517–526, 2006.

APÊNDICE

Cálculo de determinação dos pesos matemáticos AHP.

1) Matriz de comparação

FATORES	VAR 05	VAR 04	VAR 03	VAR 02	VAR 01
VAR 05	1	1/3	1/5	1/7	1/9
VAR 04	3	1	1/3	1/5	1/7
VAR 03	5	3	1	1/3	1/5
VAR 02	7	5	3	1	1/3
VAR 01	9	7	5	3	1

2) Determinação dos pesos matemáticos

a) Dividir cada elemento pela somatória dos elementos da coluna

FATORES	VAR 05	VAR 04	VAR 03	VAR 02	VAR 01
VAR 05	$1/25 = 0,04$	$0,333/16,33 = 0,020$	$0,2/9,533 = 0,021$	$0,143/4,676 = 0,031$	$0,111/1,787 = 0,062$
VAR 04	$3/25 = 0,12$	$1/16,33 = 0,061$	$0,333/9,533 = 0,035$	$0,2/4,676 = 0,043$	$0,143/1,787 = 0,080$
VAR 03	$5/25 = 0,2$	$3/16,33 = 0,184$	$1/9,533 = 0,105$	$0,333/4,676 = 0,071$	$0,2/1,787 = 0,112$
VAR 02	$7/25 = 0,28$	$5/16,33 = 0,306$	$3/9,533 = 0,315$	$1/4,676 = 0,214$	$0,333/1,787 = 0,186$
VAR 01	$9/15 = 0,36$	$7/16,33 = 0,429$	$5/9,533 = 0,524$	$3/4,676 = 0,642$	$1/1,787 = 0,650$

b) Média entre as colunas chega-se aos pesos.

Pesos
0.0333
0.0634
0.1290
0.2615
0.5128

3) Cálculo do λ_{max}

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \frac{\{Aw\}i}{w}$$

$$Aw\ 1 = (1 \times 0,033 + 1/3 \times 0,0634 + 1/5 \times 0,1290 + 1/7 \times 0,2615 + 1/9 \times 0,5128) = 0,14457$$

$$Aw\ 2 = (3 \times 0,033 + 3 \times 0,0634 + 1/3 \times 0,1290 + 1/5 \times 0,2615 + 1/7 \times 0,5128) = 0,45776$$

$$Aw\ 3 = (5 \times 0,033 + 3 \times 0,0634 + 1 \times 0,1290 + 1/3 \times 0,2615 + 1/5 \times 0,5128) = 0,54493$$

$$Aw\ 4 = (7 \times 0,033 + 5 \times 0,0634 + 3 \times 0,1290 + 1 \times 0,2615 + 1/3 \times 0,5128) = 1,36473$$

$$Aw\ 5 = (9 \times 0,033 + 7 \times 0,0634 + 5 \times 0,1290 + 7 \times 0,2615 + 9 \times 0,5128) = 7,83150$$

$$\lambda_{max} = \frac{1}{5} \times \left(\frac{0,14457}{0,0333} + \frac{0,45776}{0,0634} + \frac{0,54493}{0,1290} + \frac{1,36473}{0,2615} + \frac{7,83150}{0,5128} \right) = 0,725536$$

4) Cálculo do IC

$$IC = (0,725536 - 5) \div (5 - 1) = 0,056384$$

5) Cálculo da Razão de Consistência

$$RC = 0,056384 \div 1,12 = 0,050$$

Portanto IC menor que 10%, modelo aprovado.