

SOLO, ÁGUA, PLANTA E VARIÁVEIS AMBIENTAIS:

Impactos e suas transformações
no Sul do Amazonas

José Maurício da Cunha
Milton César Costa Campos
Douglas Marcelo Pinheiro da Silva
(Organizadores)

SOLO, ÁGUA, PLANTA E VARIÁVEIS AMBIENTAIS:

Impactos e suas transformações
no Sul do Amazonas

José Maurício da Cunha
Milton César Costa Campos
Douglas Marcelo Pinheiro da Silva
(Organizadores)

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

José Maurício da Cunha

Milton César Costa Campos

Douglas Marcelo Pinheiro da Silva

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras

Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade do Estado de Mato Grosso



Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Edevaldo de Castro Monteiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas



Solo, água, planta e variáveis ambientais: impactos e suas transformações no sul do Amazonas

Diagramação: Natália Sandrini de Azevedo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadores: José Maurício da Cunha
Milton César Costa Campos
Douglas Marcelo Pinheiro da Silva

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S689 Solo, água, planta e variáveis ambientais: impactos e suas transformações no sul do Amazonas / Organizadores José Maurício da Cunha, Milton César Costa Campos, Douglas Marcelo Pinheiro da Silva. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0234-3

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.343221905>

1. Solo - Uso - Amazônia. 2. Água. 3. Plantas. I. Cunha, José Maurício da (Organizador). II. Campos, Milton César Costa (Organizador). III. Silva, Douglas Marcelo Pinheiro da (Organizador). IV. Título.

CDD 333.75130981

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2022

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

O Bioma Amazônico é caracterizado por ser uma região bastante extensa, apresentando elevada diversidade geológicas, geomorfológicas, edáficas, climáticas e de vegetação. Contudo, a composição e as características funcionais de espécies vegetais apresentam grandes efeitos na dinâmica dos ecossistemas florestais. Assim, com o intuito de obter maior conhecimento da dinâmica dos nutrientes em áreas de recuperação florestal, manutenção da produtividade em sítios degradados, avaliação de impactos do solos em ambiente sobre intensa ocupação humana, assim como os impactos decorrentes de incêndios florestais, estudos correlatos tem sido profundamente discutidos em diversas temáticas, com a finalidade de obter informações relevantes para melhor compreender os funcionamentos desses ecossistemas.

Os estudos sobre ecossistemas da Amazônia, especialmente no Sul-sudeste do Amazonas, vem sendo discutidos por meio de pesquisas acadêmicas a partir do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, desde o ano de 2016, com a implantação no Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente da Universidade Federal do Amazonas em Humaitá, que, na ocasião, conseguiu produzir resultados importantes na construção de um conhecimento crítico da real dinâmica espaço-temporal das transformações ambientais no contexto Amazônico, promovido por um pequeno grupo de estudantes e professores com trabalhos voltados para estudar as relações entre solo, água, planta e variáveis ambientais.

O Grupo de Pesquisa “Solos em Ambientes Amazônico”, criado em 2009, foi se destacando em importantes pesquisas à medida que se consolidava, com aprovações de Projetos de Pesquisas, que auxiliaram e continua a auxiliar o grupo a prover infraestrutura adequada na realização de diversas frentes de pesquisas, como Projetos de Iniciação Científica, Trabalhos de Conclusão de Curso de Graduação, Dissertações de Mestrado e Teses de Doutorado, favorecendo a geração de conhecimento e formação de recursos humanos altamente qualificadas no interior da Amazônia. Além disso, o grupo de pesquisa também realizou Eventos Científicos e de Popularização da Ciência e publicação de Livros.

Dessa forma, as pesquisas oriundas do Grupo de Pesquisa “Solos e Ambiente Amazônico” e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais é que tornaram-se possível apresentar esta **Coletânea de Trabalhos em solo, água, planta e variáveis ambientais**, oriundo de Dissertações de Mestrado.

Agradecemos à Pro-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPESP) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), que apoiou a realização deste livro através do EDITAL N.31/2021 – PROPESP/UFAM: PROGRAMA DE APOIO À PUBLICAÇÃO DE LIVROS – 2021, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), que apoiou a realização do ***III Simpósios de Ciência do Solo da Amazônia Ocidental***,

sendo possível apresentar o material intitulado: **“Solo, água, planta e variáveis ambientais: impactos e suas transformações no Sul do Amazonas”**.

Milton César Costa Campos

José Maurício da Cunha

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ESTIMATIVA DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO EM UMA MICROBACIA DO RIO PURUZINHO, SUL DO AMAZONAS


Uilson Franciscon
José Maurício da Cunha
Milton César Costa Campos
Douglas Marcelo Pinheiro da Silva
Natasha Souza Araújo Lemos
Elilson Gomes de Brito Filho
Wildson Benedito Mendes Brito

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3432219051>

CAPÍTULO 2..... 34

ATRIBUTOS FÍSICOS, CARBONO ORGÂNICO E DIMENSÃO FRACTAL DA TEXTURA EM SOLOS SOB AMBIENTES NATURAIS E ANTROPIZADOS NA REGIÃO SUL DO AMAZONAS


José Cezar Frozzi
José Maurício da Cunha
Milton César Costa Campos
Anderson Cristian Bergamin
Wildson Benedito Mendes Brito
Uilson Franciscon
Douglas Marcelo Pinheiro da Silva
Alan Ferreira Leite de Lima
Elilson Gomes de Brito Filho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3432219052>

CAPÍTULO 3..... 85

ESTUDO DA SERAPILHEIRA, BIOMASSA RADICULAR E VARIÁVEIS DO SOLO: UMA ABORDAGEM SOCIOAMBIENTAL NA AMAZÔNIA

Ozias da Cunha Bello
José Maurício da Cunha
Milton César Costa Campos
Alan Ferreira Leite de Lima
Elilson Gomes de Brito Filho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3432219053>

CAPÍTULO 4..... 116

PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NO SUL DO AMAZONAS

Natasha Souza Araújo Lemos
José Maurício da Cunha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3432219054>

CAPÍTULO 5..... 168

MODELAGEM DA PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS NO SUL DO AMAZONAS UTILIZANDO O MÉTODO DA MÁXIMA ENTROPIA

Rômulo Henrique Marmentini Vogt

José Maurício da Cunha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3432219055>

CAPÍTULO 6..... 193

CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS EM UMA LITOSSEQUÊNCIA ARENITO-GNAISSE EM MANICORÉ – AM

Julimar da Silva Fonseca

Milton César Costa Campos

Bruno Campos Mantovanelli


Laércio Santos Silva

Alan Ferreira Leite De Lima

Elilson Gomes de Brito Filho

José Maurício da Cunha

Emily Lira Simões

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3432219056>

CAPÍTULO 7..... 245


FRAÇÕES ORGÂNICAS DO CARBONO EM AMBIENTES DE PASTAGENS E FLORESTA NO NORTE DE RONDÔNIA

Elyenayra Nogueira Pinheiro

Milton César Costa Campos

Elilson Gomes de Brito Filho

José Maurício da Cunha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3432219057>

CAPÍTULO 8..... 275

ERODIBILIDADE DO SOLO EM ÁREAS SOB AMBIENTES NATURAIS E ANTROPIZADOS NO CONTEXTO SOCIOAMBIENTAL SUL DO AMAZONAS

Abdul Luis Hassane

Milton César Costa Campos

Douglas Marcelo Pinheiro da Silva

José Maurício da Cunha


Juliana Malta de Assis

Wildson Benedito Mendes Brito

Alan Ferreira Leite de Lima

Elilson Gomes de Brito Filho

Flávio Pereira de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3432219058>

CAPÍTULO 9.....295

APORTE E DECOMPOSIÇÃO DA SERAPILHEIRA E ATRIBUTOS DO SOLO NO CONTEXTO SOCIOAMBIENTAL DA AMAZÔNIA

Maria Clécia Gomes Sales
Milton César Costa Campos
Elilson Gomes de Brito Filho
José Maurício da Cunha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3432219059>

SOBRE OS ORGANIZADORES321

MODELAGEM DA PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS NO SUL DO AMAZONAS UTILIZANDO O MÉTODO DA MÁXIMA ENTROPIA

Data de aceite: 10/03/2022

Data de submissão: 03/03/2022

Rômulo Henrique Marmentini Vogt

Mestre em Ciências Ambientais - Universidade Federal do Amazonas
romulohenriqueengenharia@gmail.com

José Maurício da Cunha

Doutor em Física Ambiental - Universidade Federal do Amazonas
maujmc@gmail.com

RESUMO: Incêndios ocorrem frequentemente na região sul do estado do Amazonas, sudoeste da Amazônia brasileira, e ocasionam diversos impactos ambientais. O objetivo deste estudo foi avaliar a relação da probabilidade de ocorrência de incêndios no sul do Amazonas com variáveis ambientais e realizar sua modelagem a partir do método da Máxima Entropia. Dados de variáveis climáticas, áreas protegidas e mudanças de uso do solo foram selecionados e submetidos a uma análise de componentes principais para determinar quais seriam as variáveis preditoras incluídas no modelo. A modelagem foi efetuada utilizando o programa computacional MaxEnt 3.3.3. A calibração foi realizada a partir de incêndios de agosto de 2018 e o modelo foi aplicado para simular a distribuição da probabilidade de ocorrência destes eventos em agosto de 2019. O ajuste do modelo foi avaliado utilizando a área abaixo da curva – AUC (avaliação independente do

limiar), sensibilidade e especificidade (avaliação dependente do limiar) e um teste *jackknife* foi aplicado para avaliar a contribuição isolada das variáveis preditoras. Os resultados indicaram que tanto a avaliação independente do limiar (AUC = 0,9439 0,0007) quanto a dependente do limiar apontam um desempenho satisfatório do modelo. As áreas mais suscetíveis concentraram-se principalmente nos municípios de Lábrea e Boca do Acre, que possuem as taxas de desmatamento e áreas de pastagem mais elevadas da região. As variáveis mais efetivas no desempenho preditivo do modelo foram a distância de estradas, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI e a temperatura de superfície.

PALAVRAS-CHAVE: MaxEnt; Amazônia; Suscetibilidade; Fogo.

ABSTRACT: Fires frequently occur in the southern region of the state of Amazonas, southwest of the Brazilian Amazon, and cause several environmental impacts. The objective of this study was to evaluate the relationship between the probability of the occurrence of fires in the south of Amazonas and environmental variables and to model her using the Maximum Entropy method. Data on climatic variables, protected areas and changes in land use were selected and subjected to a principal component analysis to determine which predictor variables would be included in the model. The modeling was performed using the software MaxEnt 3.3.3. Calibration was performed from fires in August 2018 and the model was applied to simulate the probability distribution of

occurrence of these events in August 2019. The model's performance was assessed using the area below the AUC curve (threshold independent evaluation), sensitivity and specificity (threshold dependent evaluation) and a jackknife test was applied to assess the isolated contribution of the predictor variables. The model fit was assessed using the area under the curve - AUC (independent threshold assessment), sensitivity and specificity (threshold dependent assessment) and a jackknife test was applied to assess the isolated contribution of the predictor variables. The results indicated that both the independent evaluation of the threshold ($AUC = 0.9439 \pm 0.0007$) and the dependent on the threshold indicate a satisfactory performance of the model. The most susceptible areas were concentrated mainly in the municipalities of Labrea and Boca do Acre, which have the highest deforestation rates and grazing areas in the region. The most effective variables in the predictive performance of the model were the distance from roads, the Normalized Difference Vegetation Index – NDVI and the surface temperature.

KEYWORDS: MaxEnt; Amazon; Susceptibility; Fire.

1 | INTRODUÇÃO

A Bacia Amazônica possui uma área estimada de 6,3 milhões de quilômetros quadrados, na qual encontra-se a maior porção de floresta úmida contígua e estimados 15% da biodiversidade do planeta, além de enorme diversidade étnica e cultural (BORMA e NOBRE, 2013). A maior parte desta região está localizada em território brasileiro, na denominada Amazônia Legal, que compreende os estados do Pará, Amazonas, Rondônia, Roraima, Acre, Amapá e parte dos estados do Tocantins, Mato Grosso e Maranhão, com uma área de 5.217.423 km², que corresponde a aproximadamente 61% do território nacional (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2014).

Historicamente, estratégias de desenvolvimento econômico fundamentadas no discurso de ocupação da Amazônia e na exploração predatória dos recursos naturais têm promovido a supressão da vegetação e o aumento da pressão sobre as florestas nativas (NOGUEIRA et al., 2019). Esta supressão ocorreu principalmente ao longo de uma faixa denominada “Arco do Desmatamento”, que se estende pelo sul da região, desde o Maranhão até Rondônia (COHEN et al., 2007).

Inserida no arco do desmatamento, a mesorregião sul do Amazonas ocupa uma área de 474.021,81 km², equivalente a aproximadamente 30% do território do estado, e compreende os municípios de Boca do Acre, Pauini, Humaitá, Manicoré, Novo Aripuanã, Borba, Apuí, Lábrea, Canutama e Tapauá (IBGE, 2014). Muitos destes municípios têm como principal atividade econômica a extração madeireira e a pecuária de grande porte, especialmente ao longo da BR 230 – Transamazônica (TAVARES e CORDEIRO, 2017).

Como o fogo é a principal prática utilizada para limpar a terra durante o processo de desmatamento, remover a vegetação secundária e renovar pastagens, a expansão das

fronteiras de ocupação aumentou amplamente as fontes de ignição e, conseqüentemente, a ocorrência de incêndios (FONSECA et al., 2017). Em 2019, os dez municípios da Amazônia brasileira que apresentaram maior desmatamento entre janeiro e julho foram os mesmos que apresentaram o maior quantitativo de focos de incêndios ao longo do ano. Dentre estes municípios, três pertenciam à mesorregião sul do Amazonas (SILVÉRIO et al., 2019).

Os incêndios ocasionam diversos impactos ambientais, como a destruição da cobertura vegetal e do húmus, morte de micro-organismos e da fauna silvestre, perda de nutrientes do solo e aceleração do processo de erosão, além dos potenciais efeitos climáticos causados pela emissão de partículas aerossóis, como o comprometimento no desenvolvimento de chuvas e alterações no balanço de radiação (LUCIARDO et al., 2004; SANTOS et al., 2017). A sinergia entre desmatamento, extração madeireira, práticas de manejo da terra associadas ao fogo e clima cada vez mais seco tende a aumentar a ocorrência dos incêndios na Amazônia, levando as florestas restantes a um ciclo vicioso de empobrecimento (NEPSTAD et al., 2001).

Assim, o desenvolvimento de novas práticas de manejo de incêndios e estratégias de combate torna-se cada vez mais importante para auxiliar na redução da degradação dos ecossistemas amazônicos (FONSECA et al., 2016). Neste contexto, a modelagem da ocorrência de incêndios pode ser uma abordagem fundamental pois permite avaliar os efeitos da interação entre o clima e o uso da terra nestes eventos e, assim, mitigar seus possíveis impactos (SILVESTRINI et al., 2011).

Estudos realizados em diversas partes do globo tentaram desenvolver modelos de predição de incêndios a partir de métodos de redes neurais artificiais, árvores de classificação e regressão, Máxima Entropia (MaxEnt), entre outros (BISQUERT et al.; 2012; IBARRA-MONTOYA e HUERTA-MARTÍNEZ, 2016; OLIVEIRA et al., 2012). Dentre estes, o método MaxEnt, introduzido em estudos ecológicos por Phillips et al. (2006), foi aplicado com sucesso para modelar a ocorrência de incêndios na Amazônia Brasileira (FONSECA et al., 2016).

Segundo Marcos Júnior e Siqueira (2009) o MaxEnt pode ser definido como uma técnica de aprendizagem automática (*machine learning*) que estima a distribuição de probabilidades mais próximas à distribuição uniforme sob a restrição de que os valores esperados para cada variável ambiental estejam de acordo com os valores empíricos observados nos pontos de ocorrência. Quando aplicado na predição de incêndios, obtêm-se mapas de suscetibilidade ao fogo, os quais poderão auxiliar na identificação de locais específicos para a destinação de recursos humanos e financeiros voltados a ações de prevenção e combate. (ARPACI et al., 2014; IBARRA-MONTOYA E HUERTA-MARTÍNEZ, 2016).

Portanto, diante da problemática socioambiental das ocorrências de incêndios no sul do Amazonas e da escassez de estudos relacionados a modelagem destes eventos

na região, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a relação da probabilidade de ocorrência de incêndios na região sul do Amazonas com variáveis ambientais e realizar sua modelagem a partir do método da Máxima Entropia.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo localiza-se ao sul do estado Amazonas, sudoeste da Amazônia brasileira, compreendendo os municípios de Apuí (07° 11' S, 59° 53' W, 135m), Boca do Acre (08° 45' S, 67° 23' W, 116m), Canutama (06° 32' S, 64° 22' W, 55m), Humaitá (07° 30' S, 63° 01' W, 58m), Lábrea (07° 15' S, 64° 47' W, 75m), Manicoré (05° 48' S, 61° 18' W, 45m) e Novo Aripuanã (05° 07' S, 60° 22' W, 20m), e abrange uma área de 296.500 km², correspondendo a 20% da área total do estado (VASCONCELOS et al., 2015) (FIGURA 4). Nessa área, o desmatamento acumulado até 2019 foi de 12.960 km² e em média são detectados anualmente cerca de 55% do total dos focos de calor registrados no estado do Amazonas (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE, 2020; WHITE, 2018).

Os tipos de vegetação predominante são Floresta ombrófila densa, Floresta ombrófila aberta e Savana (IBGE, 2004). Segundo a classificação de Thornthwaite e Matter, os climas de Apuí, Boca do Acre, Humaitá, Lábrea e Manicoré são do tipo B2rB'4a' (úmido, com pequena ou nenhuma deficiência hídrica, mesotérmico), B3WA'a' (úmido, com moderada deficiência hídrica no inverno, megatérmico), B4WA'a' (úmido, com moderada deficiência hídrica no inverno, megatérmico), B2WA'a' (úmido, com moderada deficiência hídrica no inverno, megatérmico) e AWA'a' (super – úmido, com moderada deficiência hídrica no inverno, megatérmico), respectivamente, com médias anuais de precipitação entre 1589 mm e 2946,2 mm, e temperaturas médias anuais entre 25 °C e 28 °C (MARTINS, 2019). Os períodos sazonais são bem definidos, sendo um chuvoso prolongado (outubro a abril), um seco de pequena duração (junho a agosto) e os meses de maio e setembro como a transição entre ambos (PEDREIRA JUNIOR et al., 2018).

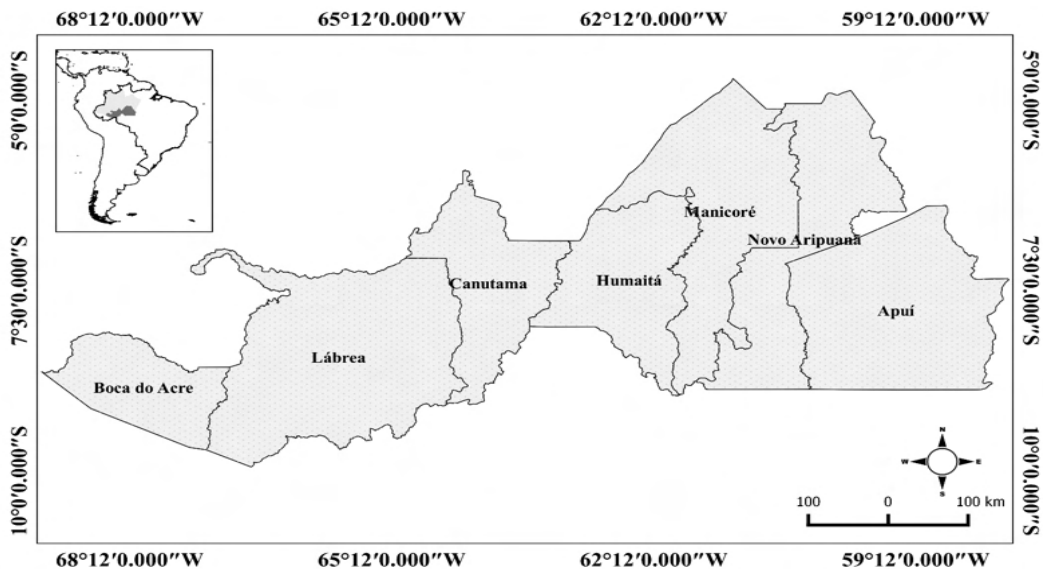


Figura 1. Caracterização da área de estudo.

Org: os Autores, 2020.

2.2 Modelagem dos focos de incêndios

2.2.1 Base de dados

Dados de focos de calor detectados pelo sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* - MODIS, a bordo do satélite AQUA, referentes ao mês de agosto de 2018, foram obtidos junto ao Projeto de Monitoramento de Incêndio INPE (<http://www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>). Os focos de calor consistem em detecções por satélite da radiância emitida por materiais em chamas, os quais emitem energia principalmente na faixa termal média de 3,7 μm a 4,1 μm do espectro óptico (ANDERSON et al., 2017). O sensor MODIS possui resolução espacial de 1 km e produz dados diários, sendo capaz de detectar uma frente de fogo de pelo menos 30 m de extensão (INPE, 2016).

Foram obtidos dados de dez variáveis ambientais que, com base em estudos recentes (FONSECA et al., 2016; SILVESTRINI et al., 2011; WHITE, 2018), exercem influência direta ou indireta sobre a ocorrência dos focos de incêndios (TABELA 1), os quais foram manipulados por meio do programa computacional QGIS 3.6.2, sendo convertidos e/ou reamostrados para o formato matricial com resolução espacial de 0,001°.

Variável	Escala Temporal	Fonte
Precipitação	Mensal	GPM/NASA
Déficit Hídrico Acumulado	Mensal	Presente estudo
Temperatura de Superfície	Mensal	MODIS/USGS
Altimetria	-	SRTM/INPE
Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI)	16 dias	MODIS/USGS
Distância de Rodovias	-	Presente estudo
Área de Pastagem	Anual	MAP BIOMAS
Área Desmatada	Anual	PRODES/INPE
Unidades de Conservação	-	ICMBio
Terras Indígenas	-	FUNAI

Tabela 1. Conjunto de dados espaciais utilizados na modelagem.

A precipitação mensal (mm) foi obtida a partir de dados do *Global Precipitation Measurement* - GPM, produto GPM_3IMERGHH v06 (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>). A partir desta, o Déficit Hídrico Acumulado Mensal - DHA foi calculado utilizando a metodologia adotada por Aragão et al. (2007), que considera uma transpiração de ~ 100 mm/mês para um dossel tropical úmido. Deste modo, quando a precipitação mensal (P) é menor que esse valor, a floresta entra em déficit hídrico. O DHA em cada pixel foi calculado para um mês (n), fixando a evapotranspiração (E) em 100 mm/mês, considerando a seguinte equação:

$$\begin{aligned} \text{Se } DHA_{n-1(i', j)} - E_{(i, j)} + P_{n(i, j)} < 0 \\ \text{Então } DHA_{n(i', j)} = DHA_{n-1(i', j)} - E_{(i, j)} + P_{n(i, j)} \\ \text{Senão } DHA_{n(i', j)} = 0 \end{aligned}$$

Valores de Temperatura de Superfície - LST e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI foram extraídos dos produtos MYD11C3 (<https://lpdaac.usgs.gov/products/myd11c3v006/#tools>), e MOD13Q1 (<https://www.modis.cnpia.embrapa.br/geonetwork/srv/pt/main.home>), das coleções Aqua MODIS e Terra MODIS, respectivamente. Dados de altimetria foram obtidos de um Modelo Digital de Elevação - MDE elaborado a partir de dados da Missão Topográfica Radar Shuttle - SRTM (<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>).

Como variáveis relacionadas ao uso do solo foram incluídas a área desmatada, disponibilizada pelo projeto PRODES, do INPE (<http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodes>).

php); a área de pastagem, disponibilizada pelo Map Biomas (<https://maps.lapig.iesa.ufg.br/lapig.html>); mapas de unidades de conservação do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio (<http://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros>); e mapas de terras indígenas produzidos pela Fundação Nacional do Índio – FUNAI (<http://www.funai.gov.br/index.php/servicos/geoprocessamento>). Esses dados foram adquiridos originalmente em formato vetorial, sendo convertidos para *rasters* do tipo binário (presença e ausência).

A distância de estradas foi obtida a partir do cálculo da distância euclidiana (distância entre cada célula do mapa e a célula mais próxima do elemento alvo) de arquivos vetoriais de estradas disponibilizados pelo *Open Street Map* - OSM (<https://www.openstreetmap.org/#map=4/-15.13/-53.19>).

2.2.2 Escolha das variáveis preditoras

Para definir quais variáveis preditoras seriam incluídas no modelo, aplicou-se ao conjunto de dez variáveis uma Análise de Componentes Principais – PCA, por meio do programa computacional ESRI ArcMap 10.5. Hongyu et al. (2015) definiu a PCA como uma técnica estatística de análise multivariada que transforma linearmente um conjunto original de variáveis, inicialmente correlacionadas entre si, num conjunto substancialmente menor de variáveis não correlacionadas que contém a maior parte da informação do conjunto original. A partir da PCA obteve-se uma matriz de correlação e um grupo de n componentes que explicam a variância do conjunto de dados em escala decrescente de importância. Utilizou-se como critério de seleção a metodologia de Dalapicolla (2016), que sugere a inclusão das duas principais variáveis de cada componente gerado (as que apresentaram maior contribuição para o componente) e a exclusão daquelas que apresentaram uma correlação superior a 70% com alguma das variáveis incluídas.

2.2.3 Calibração

A princípio, efetuou-se a modelagem de eventos de incêndios significativos (áreas grandes ou de longa duração) com base na metodologia adotada por Fonseca et al. (2016). Para tal, a área de estudo foi dividida em uma grade de resolução de 0.1° , de modo que um evento de incêndio foi considerado apenas quando 7 ou mais focos de calor foram detectados em uma determinada célula da grade durante o mês de calibração, o que corresponde ao terceiro quartil da distribuição do número de focos de calor por célula da grade.

Posteriormente, a calibração do modelo foi efetuada a partir dos eventos de incêndios agosto de 2018, que corresponde primeiro mês da temporada de queima no estado do Amazonas (WHITE, 2018), além de variáveis preditoras mensais referentes a

julho de 2018 e anuais referentes ao ano de 2017. A análise foi realizada utilizando o software Maxent para modelagem de habitats de espécies (PHILLIPS et al., 2006) versão 3.3.3, com 70% dos registros de incêndios utilizados para treinamento e 30% para teste. O software produz resultados diferentes de uma execução para a próxima, utilizando a mesma entrada de dados. Logo, utilizou-se uma técnica de reamostragem *bootstrap* com 20 execuções para que o programa faça uma média e gere um modelo final. Esta técnica envolve a partição dos dados aleatoriamente, com reposição, em vários conjuntos de treino e teste (GIANNINI, et al., 2012).

Optou-se pela utilização da saída logística do software, que pode ser entendida como uma superfície de adequação normalizada com valores de zero a um que equivale, portanto, a uma a uma probabilidade relativa (e não absoluta) de ocorrência de incêndios (FONSECA et al., 2016). O Maxent estima uma distribuição de probabilidade de destino encontrando a distribuição de probabilidade de entropia máxima (ou seja, que está mais espalhada ou mais próxima de uniforme), sujeita a um conjunto de restrições que representam nossas informações incompletas sobre a distribuição de destino (PHILLIPS et al., 2006). Explicações mais detalhadas dos aspectos técnicos do Maxent podem ser encontradas em Phillips et al. (2006) e Phillips et al. (2017).

2.2.4 Simulação

A partir do modelo Maxent calibrado para o mês de agosto de 2018, efetuou-se a simulação para agosto de 2019, visando estimar a distribuição espacial da probabilidade de ocorrência de incêndios para este período. Utilizou-se, portanto, variáveis preditoras anuais referentes a 2018 e mensais referentes a julho de 2019.

2.2.5 Avaliação

A capacidade preditiva do modelo foi avaliada em função da sua Curva Característica de Operação - ROC, a qual é obtida plotando-se a sensibilidade (também conhecida como a taxa de verdadeiros positivos, representando ausência de erro de omissão) no eixo y e o valor 1 – especificidade (também conhecida como taxa de falso positivo, representando erro de sobreprevisão) no eixo x. Esta etapa pode ser entendida como a validação interna do modelo e nela calcula-se a Área Sob a Curva - AUC a partir dos dados de teste da validação do próprio Maxent, representando um índice independente de um limite de corte (PHILLIPS et al., 2006). Os valores da AUC variam de 0 a 1, sendo que um valor de 0,5 indica que o modelo não é melhor que o aleatório e um valor próximo de 1 indica um desempenho satisfatório do modelo.

A validação externa deu-se pela aplicação de sete limiares de corte ao produto da simulação realizada para agosto de 2019, sendo eles: o limiar de corte mínimo (gerado pelo

MaxEnt), que representa o menor valor previsto diferente de zero entre as localidades de treinamento (PHILLIPS et al., 2006); e os limiares 0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, e 0,5. Este método resulta em uma distribuição espacial binomial diferente da área suscetível para cada limiar aplicado. Assim, efetuou-se o cálculo da sensibilidade (ausência de erro de omissão) e da especificidade (ausência de erro de sobreprevisão) do modelo a partir da geração de uma matriz de confusão, com pontos de presença e ausência definidos em função das células de eventos de incêndios significativos identificados no mês de agosto de 2019.

Os mapas binomiais de suscetibilidade gerados também foram utilizados para calcular os percentuais de área suscetível por limiar de corte e por município da área de estudo. A dependência da suscetibilidade prevista pelo modelo em relação a cada variável utilizada na previsão foi avaliada por meio da criação de curvas de reposta, a partir da geração de diferentes modelos individuais para cada variável correspondente. Por fim, um teste *jackknife* foi aplicado para avaliar o efeito isolado de todas as variáveis na performance do modelo baseado na medida da AUC (FIGURA 5).

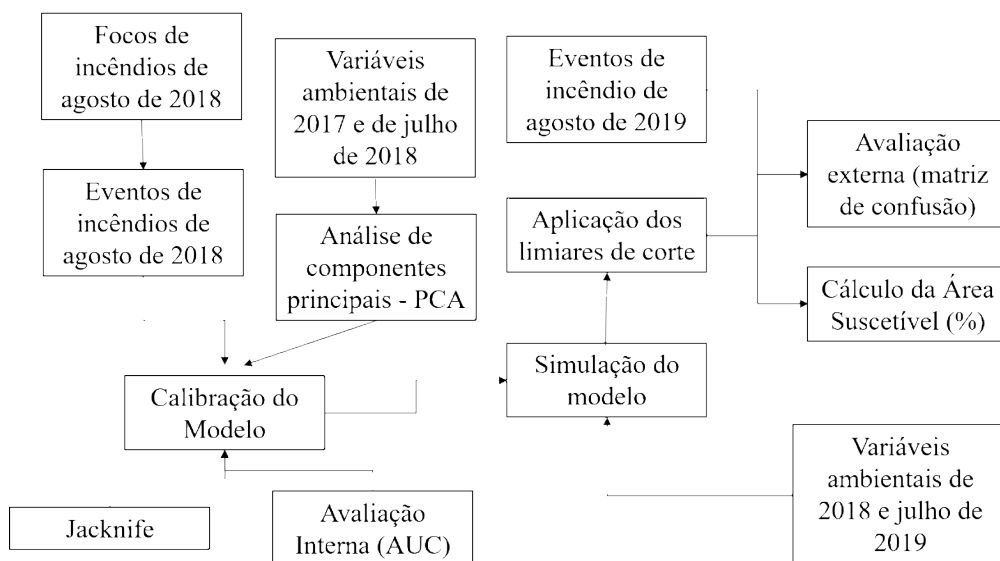


Figura 2 Visão geral das principais etapas da modelagem dos focos de incêndio.

Org: os Autores, 2020.

3 | RESULTADOS

3.1 Escolha das variáveis predictoras

Conforme disposto na Tabela 2, verificou-se correlação superior a 0,7 entre as variáveis precipitação mensal e DHA (0,729); precipitação mensal e LST (-0,874); e área

desmatada e área de pastagem (0,717).

	Alt	DHA	AD	DE	LST	NDVI	AP	Ppt	TI	UC
Alt	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DHA	-0.113	1	-	-	-	-	-	-	-	-
AD	0.088	-0.001	1	-	-	-	-	-	-	-
DE	0.153	0.140	-0.223	1	-	-	-	-	-	-
LST	-0.413	-0.361	-0.180	-0.554	1	-	-	-	-	-
NDVI	0.051	0.083	-0.345	0.142	-0.223	1	-	-	-	-
AP	0.102	-0.019	0.717*	-0.208	0.211	-0.353	1	-	-	-
Ppt	-0.376	0.729*	-0.012	-0.061	-0.874*	-0.026	-0.042	1	-	-
TI	-0.118	-0.141	-0.087	0.063	0.074	0.012	-0.072	-0.040	1	-
UC	0.084	-0.255	-0.149	0.139	0.644	0.106	-0.107	-0.183	-0.173	1

Tabela 2. Correlação entre as variáveis ambientais.

Alt: Altimetria; DHA: Déficit Hídrico Mensal Acumulado; AD: Área Desmatada; DE: Distância de Estradas; LST: Temperatura de Superfície; NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; AP: Área de Pastagem; Ppt: Precipitação mensal; TI: Terras Indígenas; UC: Unidades de Conservação.

O DHA foi a segunda variável que mais contribuiu para o PC2 enquanto a precipitação foi a segunda que mais contribuiu para a PC3. Área desmatada e área de pastagem foram, respectivamente, a primeira e a segunda variável que mais contribuíram para o PC7 (TABELA 3). Portanto, a precipitação mensal e a área de pastagem não foram incluídas no modelo (Figura 6).

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
Alt	0.031*	0.945**	-0.316	-0.072	0.005	0.002	0.000	0.001	0.000	0.030
DHA	0.021	-0.287*	-0.920**	0.263**	-0.004	0.001	0.000	-0.001	0.000	-0.047
AD	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.092	-0.126	0.751*	-0.640**	0.021	0.028
DE	0.999*	-0.023	0.029	-0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004
LST	-0.004	-0.007	0.020	0.239	0.159	0.043	0.005	0.016	0.006	0.956*
NDVI	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.009	-0.137	-0.195	-0.971*	0.010
AP	0.000	0.000	0.000	0.001	-0.014	-0.055	0.627**	0.740**	-0.237**	-0.009
Ppt	-0.003	-0.155	-0.230*	-0.932**	0.037	0.008	0.001	0.004	0.001	0.230**
TI	0.000	-0.001	0.002	-0.003	-0.162*	0.979**	0.118	-0.032	-0.001	-0.016
UC	0.000	0.001	0.003	-0.003	0.969*	0.143**	0.099	-0.058	-0.003	-0.167

Tabela 3. Análise de componentes de principais.

* variável incluída no modelo.

** variável repetida/correlacionada.

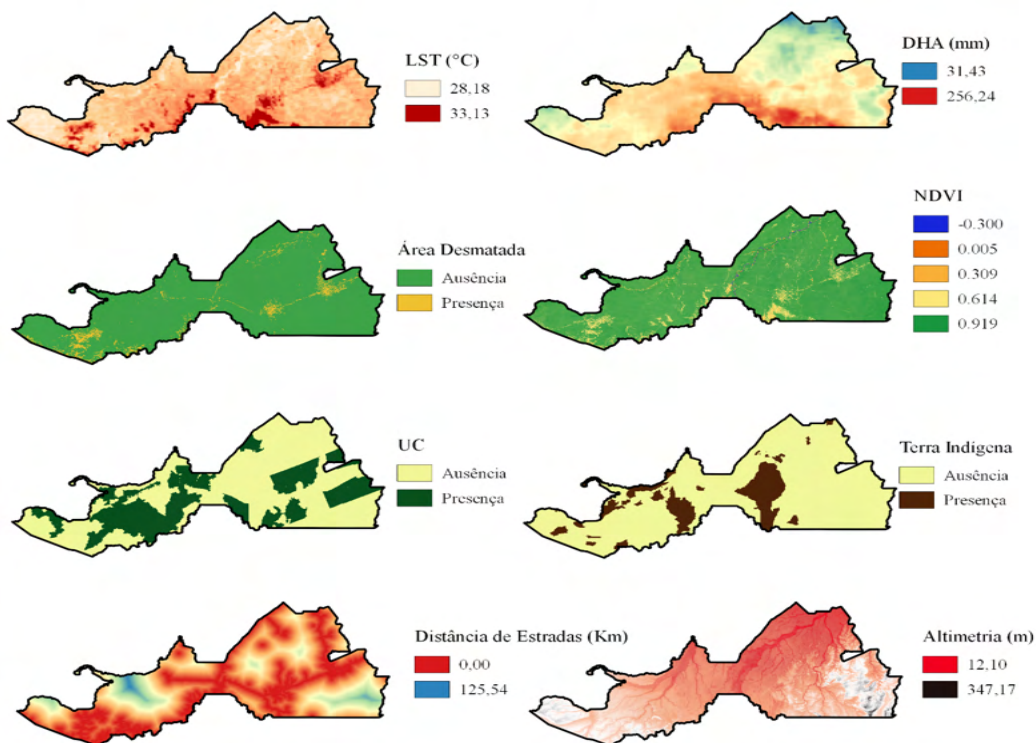


Figura 3. Variáveis predictoras incluídas no modelo.

3.2 Modelagem da ocorrência de incêndios

Identificou-se 98 ocorrências de eventos de incêndios significativos para o mês de agosto de 2018, das quais 69 foram utilizadas para treinamento e 29 para teste. O modelo gerado apresentou valores de AUC 0,956 0,007 para dados de treinamento e de 0,9439 0,0128 para dados de teste.

Para agosto de 2019, o número de ocorrências de incêndios foi de 229 (FIGURA 7A), valor substancialmente maior em relação ao mesmo período do ano anterior. Os resultados da simulação para agosto de 2019 indicaram valores de saída entre 0,000002 para áreas menos suscetíveis e 0,538 para áreas mais suscetíveis e estão dispostos na Figura 7B.

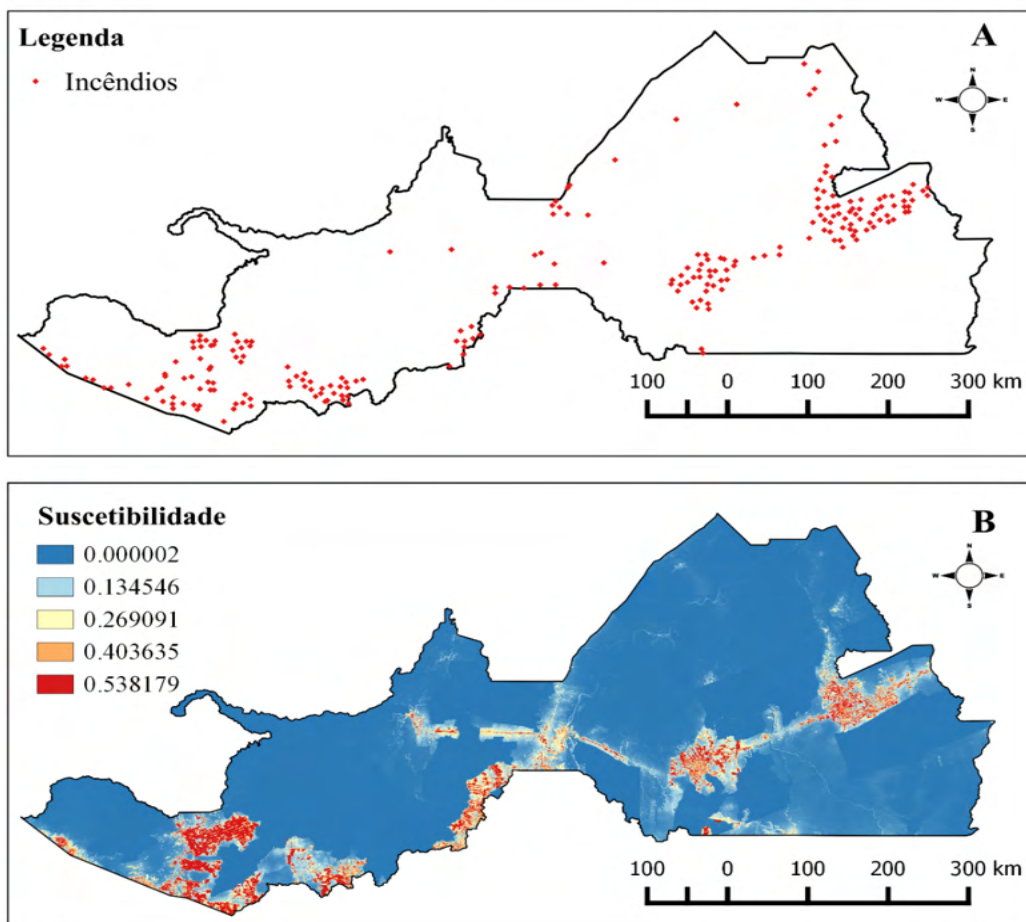


Figura 4. Ocorrências de incêndios em agosto de 2019 (A); distribuição da probabilidade de ocorrência de incêndios em agosto de 2019.

O limiar de corte mínimo obtido foi de 0,035. A partir da sua aplicação, cerca de 19,44% da área de estudo (57.695,78 km²) foi identificada como área suscetível. Neste limiar, verificou-se ainda que, das 229 células com ocorrências de incêndios, 215 coincidiram com pixels de área suscetível e 16 em área não-suscetível. Das 2223 células identificadas como pontos de ausência (sem ocorrência de incêndios significativos), 1943 localizaram-se em área não-suscetível e 280 em área suscetível. Estes resultados indicam uma sensibilidade de 0,931 e especificidade de 0,874. O limiar de corte de 0,05, por sua vez, indicou uma área suscetível equivalente a 17,51% da área de estudo (51.967,75 km²) e obteve sensibilidade de 0,9177 e especificidade de 0,891. Para os limiares de corte de 0,1 a 0,5, a área suscetível equivalente a 13,19% (41.213,5 km²), 8,29% (24.579,85 km²), 5,8% (17.197 km²), 4,25% (12.601,25 km²) e 2,64% (7.827,6 km²) da área de estudo; a

ausência de erro de omissão foi de 0,861, 0,675, 0,545, 0,433 e 0,294; e a ausência de erro de sobreprevisão foi de 0,929, 0,964, 0,977, 0,982 e 0,987; respectivamente (Figura 8).

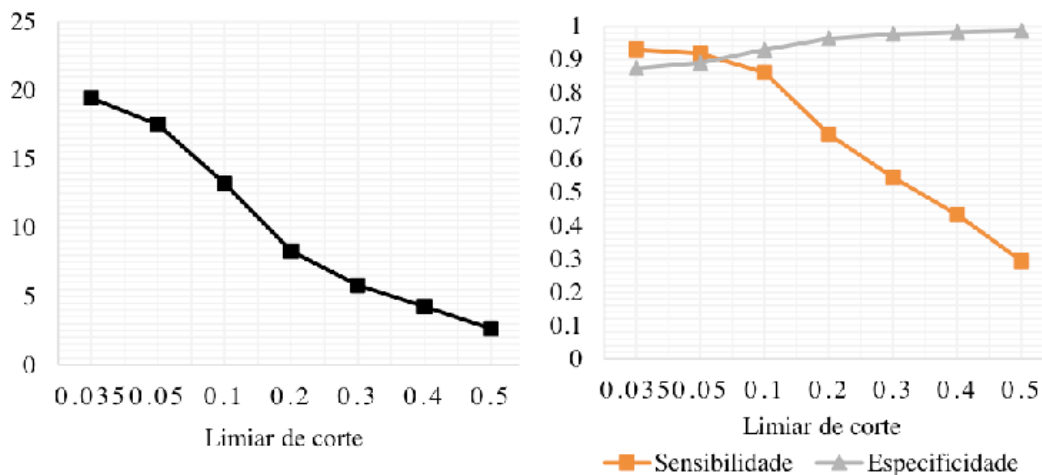


Figure 5. Percentual de área suscetível, sensibilidade e especificidade para os sete limiares de corte aplicados.

A distribuição espacial da área suscetível a partir dos limiares de corte aplicados pode ser observada na Figura 9.

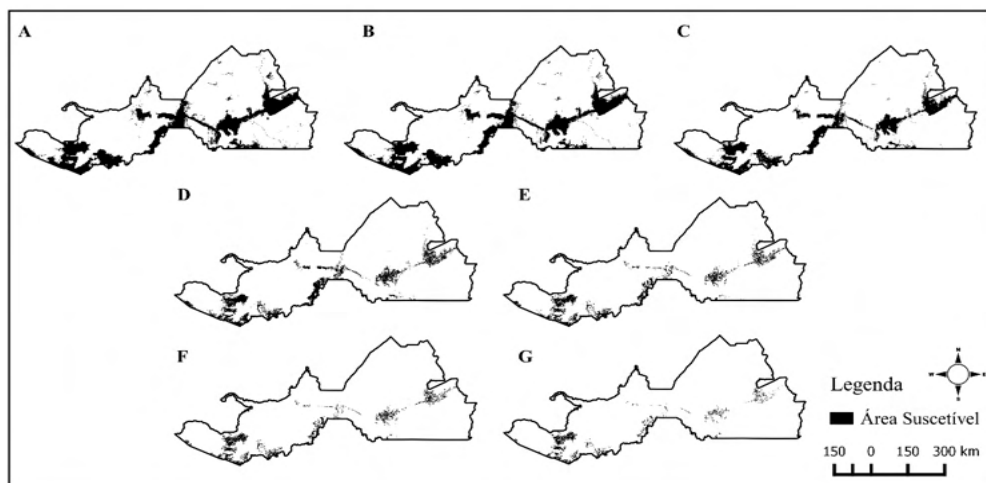


Figura 6. Distribuição espacial da área suscetível obtida a partir da aplicação dos limiares de corte mínimo (A), 0,05 (B), 0,1 (C), 0,2 (D), 0,3 (E), 0,4 (F) e 0,5 (G).

Os maiores percentuais de área suscetível para o limiar de corte mínimo entre os

municípios da região sul foram apresentados por Boca do Acre (29,5%), Humaitá (22,1%) e Canutama (21,1%), respectivamente. Para os limiares de 0,05 e 0,1 os maiores valores foram novamente de Boca do Acre (26,5% e 20%, respectivamente), seguido por Canutama (20,1% e 17,8%) e Lábrea (19,4% e 15,7%). No limiar de 0,2, Canutama apresentou o maior valor percentual de área suscetível (14,3%), seguido por Boca do Acre (13,7%) e Lábrea (8,2%). Nos limiares subsequentes, os maiores percentuais foram novamente apresentados por Boca do Acre (10,7%, 8,1% e 5,6%, respectivamente), seguidos por Lábrea (8,2%, 6,9% e 5,4%) e Canutama (7,4%, 4,9% e 2,7%) (TABELA 4).

	Área suscetível por limiar de corte (%)						
	0,035	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Apuí	19,4	16,9	11,9	6,6	5,0	3,7	1,7
Boca do Acre	29,5	26,5	20,0	13,7	10,7	8,1	5,6
Canutama	21,1	20,1	17,8	14,3	7,4	4,9	2,7
Humaitá	22,1	19,0	11,6	5,6	2,6	1,4	0,5
Lábrea	20,6	19,4	15,7	10,3	8,2	6,9	5,4
Manicoré	12,1	10,7	7,8	4,0	3,0	2,3	1,1
Novo Aripuanã	17,6	15,5	10,3	5,3	2,8	1,8	1,1

Tabela 4. Percentual de área suscetível por limiar de corte por município da região sul do Amazonas.

3.3 Contribuição das variáveis ambientais

Distância de estradas (AUC = 0,8813) e NDVI (0,821) foram as variáveis que mais influenciaram no desempenho do modelo, seguidas por LST (AUC = 0,7811), DHA (AUC = 0,7427), altimetria (AUC = 0,7347), área desmatada (AUC = 0,7136), unidades de conservação (AUC = 0,6718) e terras indígenas (AUC = 0,5716), conforme ilustra a Figura 10.

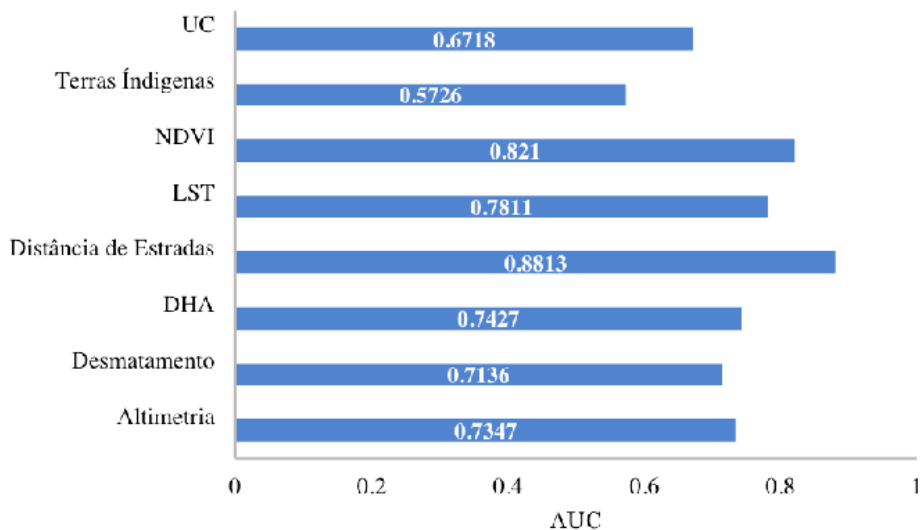


Figura 7. Resultados do teste jackknife para avaliação do efeito isolado de todas as variáveis na performance do modelo baseado na medida da Área Abaixo da Curva - AUC.

A distância de estradas apresentou relação inversa com probabilidade de incêndios, em especial nos primeiros 10 km, conforme mostra a Figura 11. O NDVI, por sua vez, apresentou expressiva relação negativa para valores acima de 0,8, aproximadamente. As curvas de resposta das variáveis LST, DHA e altimetria apresentaram comportamento semelhante, com os valores de saída mais elevados distantes dos mínimos e máximos das respectivas variáveis. Unidades de conservação e terras indígenas apresentaram relação negativa com a probabilidade de ocorrência de incêndios, enquanto a área desmatada apresentou relação positiva com esta.

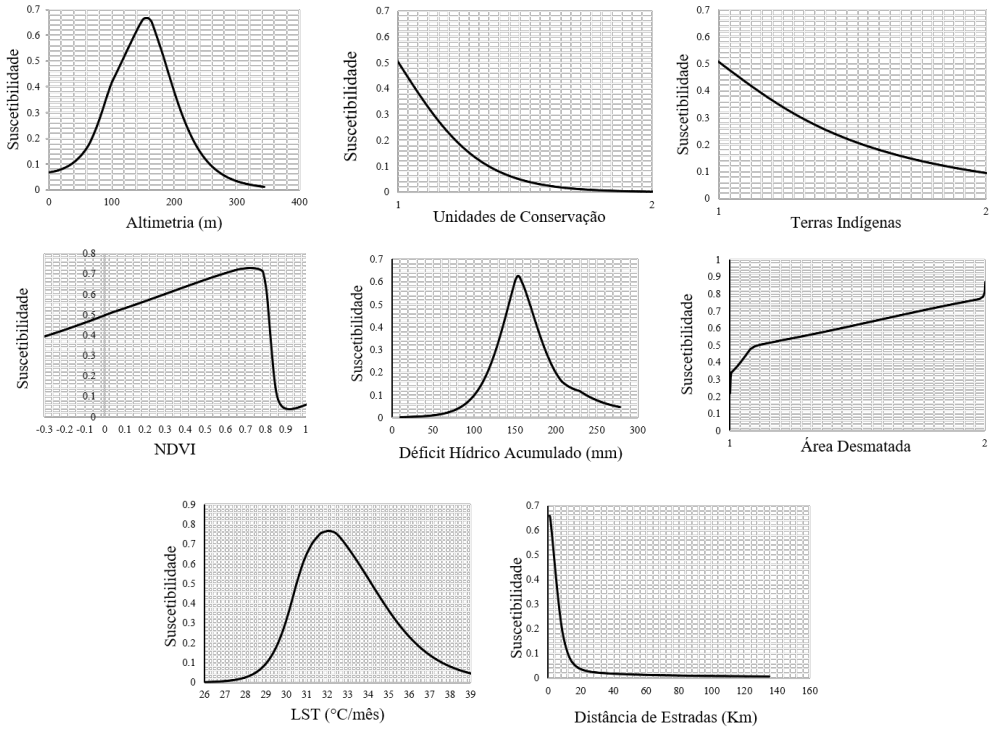


Figura 8. Curvas de resposta mostrando como cada variável ambiental afeta a suscetibilidade a incêndios prevista pelo modelo Maxent.

4 | DISCUSSÃO

A PCA mostrou-se efetiva para a remoção de variáveis redundantes, conforme já havia sido verificado em outros estudos (HOUNGYU et al., 2015; SABINO et al., 2014; FERNANDES et al., 2012). A correlação entre a área desmatada e a área de pastagem era esperada pois, na Amazônia Brasileira, a principal responsável pelo desmatamento é a pecuária (RIBEIRO et al., 2009). O déficit hídrico acumulado e a precipitação, por sua vez, mostraram-se correlacionados pois um foi calculado em função do outro, sendo natural que haja algum tipo de dependência entre as variáveis.

Os valores de AUC gerados pelo modelo, tanto para treinamento quanto para teste, indicaram um desempenho adequado aos padrões apresentados em estudos semelhantes, como os de FONSECA et al. (2016) (AUC de treinamento = 0,919 0,0004; AUC de teste: 0,901 0,001), IBARRA-MONTOYA e HUERTA-MARTÍNEZ (2015) (AUC de treinamento = 0,834), MASSADA et al., (2015) (AUC de teste = 0,716) e FONSECA et al. (2017) (AUC de treinamento = 0,837 0,008; AUC de teste = 0,807 0,012). Na Figura 8, verificou-se que os erros de omissão aumentaram significativamente nos limiares de corte mais elevados. Alguns destes erros podem ser resultado da ocorrência de incêndios em áreas de pouca

interferência antrópica, como unidades de conservação e terras indígenas, em virtude das atividades de subsistência de povos tradicionais. A utilização do fogo por povos indígenas em atividades de manejo agrícola, por exemplo, é relatada em diversos estudos (LEONEL, 2000; MELO e SAITO, 2011; MISTRY e BIZERRIL, 2011).

Erros de sobreprevisão, no entanto, reduziram significativamente nos limiares de corte mais elevados. Em alguns casos, a existência destes erros pode estar relacionada a limitações nas fontes de ignição, em sua maioria de origem antrópica, que fazem com que áreas adequadas para a ocorrência de incêndios venham a não queimar (CARAPIÁ, 2006; FONSECA, et al. 2016). Como os recursos humanos e financeiros do combate ao fogo são limitados, considera-se os erros de sobreprevisão mais graves que os de omissão, pois podem resultar em um direcionamento equivocado destes recursos. Portanto, para a definição de áreas prioritárias, a aplicação de limiares de corte mais elevados, como os de 0,3, 0,4 e 0,5, mostra-se mais adequada.

Os dois municípios que apresentaram os maiores percentuais de área suscetível nos três maiores limiares de corte utilizados têm como forte característica as atividades agropecuárias. O primeiro, Boca do Acre, possui o maior rebanho bovino do sul do estado do Amazonas, com mais de 350 mil cabeças, e área de pastagem de 2033,55 km² que equivale a 9% da área total do município (MAPBIOMAS, 2018; TAVARES e CORDEIRO, 2017). Além disso, o município possui uma área desmatada de 2619,2 km² (11,6% da área total), sendo 117,2 km² (0,52%) produto de desmatamento ocorrido no ano de 2018 (INPE, 2018). Em ambos os casos estes são os maiores valores percentuais entre os municípios da área de estudo. Lábrea, com a segunda maior área suscetível, também apresenta forte produção pecuária, em especial ao longo da BR 230, além de crescentes atividades de grilagem de terras, desmatamento e extração de madeira ilegal na sua porção sul e oeste (TAVARES e CORDEIRO, 2017). Não obstante, 4785,3 km² do município representam área desmatada, o que equivale a 6,9% da sua área total, sendo 325,9 km² (0,47% da área total) incrementados em 2018, e área de pastagem de 4180, 32 km² (6,0%), segundo maior índice da região nos três quesitos (MAPBIOMAS 2018, INPE, 2018).

A convergência das áreas suscetíveis com áreas de incremento de desmatamento e atividades de pecuária é importante pois, historicamente, estas atividades estão fortemente relacionadas com a ocorrência de queimadas (CARDOZO et al., 2014; SODRÉ et al., 2018; WHITE, 2018). Neste contexto, a alta suscetibilidade a incêndios verificada em Canutama não era esperada. O município, que possui o menor número de habitantes dentre os da região sul, é caracterizado por apresentar, na sede municipal e entorno, atividades de extrativismo de produtos florestais madeireiros e não madeireiros, pesca, agricultura familiar e de pequena escala (TAVARES e CORDEIRO, 2017). A área desmatada equivale a 1152,8 km² ou 3,81% da área total do município, sendo 44,8 km² (0,15%) produto do desmatamento de 2018 (INPE, 2018). A área de pastagem, por sua vez, limita-se a 90,83

km² ou 3% da área do município (MAPBIOMAS, 2018). Estes valores são menores, por exemplo, que os verificados para os municípios de Apuí e Manicoré.

Pode-se atribuir, portanto, os elevados percentuais de área suscetível em Canutama à presença de duas grandes rodovias no município: a BR-230 e a BR-319. Esta hipótese deve-se a significativa contribuição da distância de estradas no desempenho do modelo (Figura 6), podendo ser responsável, inclusive, por superestimar a probabilidade de ocorrência de incêndios no município.

Não obstante, os elevados valores de AUC resultantes do teste *jackknife* para a variável distância de estradas eram esperados, mas foram maiores que aqueles obtidos por Fonseca et al. (2017) e Madassa et al. (2013). Isto pode ser considerado um indicativo de que, para a região sul, a influência antrópica é a principal responsável pela ocorrência de incêndios.

A relação negativa da distância de estradas com a probabilidade de ocorrência de incêndios, em especial nos primeiros 10 km (Figura 11), também foi verificada em outros estudos (ALENCAR et al., 2004; SILVESTRINI et al., 2011). Para Fearnside et al. (2012), a disponibilidade e a qualidade das estradas estão relacionadas ao custo de transporte e, portanto, afetam diretamente as taxas de desmatamento. Não obstante, Silvestrini et al. (2011) verificaram que os focos de calor seguem de perto as principais estradas da Região Amazônica e atribuíram isto a uma forte associação do fogo com práticas de limpeza de floresta e manutenção de pastagens.

A significativa influência do NDVI na predição de incêndios foi verificada em alguns estudos recentes (GOLDARAG et al., 2016; RENARD et al., 2012), podendo ser atribuída a sua capacidade de distinguir determinados aspectos do uso e ocupação do solo, como corpos d'água, áreas de floresta densa e de vegetação rasteira (COUTINHO et al., 2016). Valores de NDVI acima de 0,8 indicam a presença de áreas de floresta em elevado estágio de desenvolvimento, com idade superior a 70 anos (MALLMANN et al., 2015). Portanto, a tendência é que estas áreas apresentem teores de umidade elevados e pouca ou nenhuma influência antrópica, o que justifica a relação inversa com a probabilidade de ocorrência de incêndios.

A significativa contribuição da temperatura de superfície na suscetibilidade de incêndios é corroborada por Bisquert et al. (2012), que obtiveram acurácia de 76% utilizando-a como única variável preditora de incêndios. Silva Júnior et al. (2018), por sua vez, afirmam que a distribuição espacial da LST geralmente têm picos máximos em áreas urbanas e mínimos em áreas de floresta e que os focos de incêndios, no entanto, ocorrem principalmente em áreas agrícolas, de pastagem ou de vegetação rasteira, as quais se encontram em intervalos de temperatura distintos dos dois extremos citados. Esta premissa vai de encontro ao comportamento da curva de resposta obtida para a variável, que apresenta menores valores de saída nos dois extremos.

O efeito do déficit hídrico acumulado na predição indica que fatores naturais também podem influenciar na ocorrência dos incêndios. Esta variável tem relação com o grau de umidade no sistema, o que viabiliza ou não a formação de material combustível seco (FERNANDES et al., 2011). Segundo Fonseca et al. (2016), dados de déficit hídrico acumulado de até três meses antes do mês simulado afetam significativamente o desempenho do modelo Maxent na predição de incêndios. Além disso, nos municípios da região sul, o déficit hídrico acumulado tende a ser intensificado e atenuado, respectivamente, em anos de ocorrência de El Niño e La Niña, em função de anomalias de precipitação decorrentes destes eventos (SOUZA et al., 2019a; SOUZA et al., 2019b).

A curva de resposta do déficit hídrico indicou que a relação positiva com a probabilidade de ocorrência de incêndios limitou-se a déficits de até 150 mm/mês, tornando-se negativa a partir deste valor. Este comportamento ocorre pois, apesar de a variável influenciar diretamente na quantidade de umidade do material combustível, a distribuição espacial dos incêndios depende da ocorrência de fontes de ignição, as quais são, em grande maioria, de origem antrópica (FERNANDES et al., 2011; FONSECA et al., 2016; FONSECA et al., 2017).

Este aspecto pode ser considerado também na interpretação da curva de resposta da altimetria, variável que não tem uma relação bem definida com a ocorrência de incêndios. No entanto, a baixa probabilidade de incêndios nas altitudes mais baixas corrobora com Silvestrini et al. (2011), que identificaram esta relação negativa para altitudes de até 70 m e atribuíram a este fato a existência de planícies alagadas e zonas úmidas.

As menores contribuições ao desempenho preditivo do modelo foram das variáveis de uso do solo inseridas em formato binário (terras indígenas, unidades de conservação e área desmatada, respectivamente), aspecto que pode ter dificultado a calibração do modelo e subestimado a importância destas variáveis. Em contrapartida, o comportamento das curvas de resposta foi semelhante ao verificado em outros estudos: relação positiva da probabilidade de incêndios com a área desmatada e relação negativa com as unidades de conservação e terras indígenas (ANDERSON et al., 2017; FONSECA et al., 2016; SILVESTRINI et al., 2011; WHITE, 2018).

5 | CONCLUSÃO

O modelo MaxEnt apresentou desempenho satisfatório e mostrou-se uma ferramenta potencialmente útil na prevenção e combate aos incêndios no sul do Amazonas. As variáveis que apresentaram maior contribuição para o modelo foram a Distâncias de Estradas, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e a Temperatura de Superfície. A utilização de dados de sensoriamento remoto permite a atualização periódica das variáveis predictoras, resultando em diferentes distribuições espaciais da suscetibilidade

aos incêndios ao longo do tempo. Sua aplicação possibilitaria avaliar a suscetibilidade ao fogo no entorno de áreas de floresta nativa, norteadando a aplicação de ações preventivas, especialmente nos períodos mais secos do ano. O modelo pode ser utilizado ainda na avaliação de impactos decorrentes de aberturas de novas estradas e de supressão e recuperação de vegetação.

Em novos estudos, sugere-se a combinação do método MaxEnt com estimativas de taxas de desmatamento e diferentes cenários de potenciais mudanças climáticas a fim de modelar a dinâmica espaço-temporal da probabilidade de ocorrência de incêndios ao longo das próximas décadas.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, A.; ASNER, G. P.; KNAPP, D.; ZARIN, D. Temporal variability of forest fires in eastern Amazonia. *Ecological Applications*, v. 21, p. 2397-2412, 2011.

ALENCAR, A. A. C.; SOLÓRZANO, L. A.; NEPSTAD, D. C. Modeling forest understory fires in an Eastern Amazonian landscape. *Ecological Applications*, v. 14, p. 465-469, 2004.

ANDERSON, L. O.; YAMAMOTO, M.; CUNNINGHAM, C.; FONSECA, M. G.; FERNANDES, L. K.; PIMENTEL, A.; BROWN, F.; SILVA JUNIOR, C. H. L.; LOPES, E. S. S.; MOREIRA, D. S.; SALAZAR, N.; ANDERE, L.; ROSAN, T. M.; REIS, V.; ARAGÃO, L. E. O. C. Utilização de dados orbitais de focos de calor para caracterização de riscos de incêndios florestais e priorização de áreas para a tomada de decisão. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 69, p. 163-177, 2017.

ARAGÃO L, E. O. C.; MALHI, Y.; BARBIER, N.; LIMA, A.; SHIMABUKURO, Y.; ANDERSON, L.; et al. Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, v. 363, p. 1779-1785, 2008.

ARAGÃO, L. E. O. C.; SHIMABUKURO, Y. E.; LIMA, A.; ANDERSON, L. O.; BARBIER, N.; SAATCHI, S. Utilização de produtos derivados de sensores orbitais para o estudo de queimadas na região da Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. *Anais Eletrônicos*. Natal: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009. p. 25-30 2009 abril 25-30. Disponível em: <http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/material3os/2009_Aragao_et_al_QueimadasAmazonia_XIVSBSR_DE3os.pdf> Acesso em 18 de março de 2019.

ARAGÃO, L. E. O. C.; MALHI, Y.; ROMAN-CUESTA, R. M.; SAATCHI, S.; ANDERSON, L. O.; SHIMABUKURO, Y. E. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. *Geophysical Research Letters*, v. 34, L07701, 2007.

ARPACI, A.; MALOWERSCHING, B.; SASS, O.; VACIK H. Using multi variate data mining techniques for estimating fire susceptibility of Tyrolean forest. *Applied Geography*, v. 53, p. 258-270, 2014.

BARBOSA, R. I.; FEARNSIDE, P. M. Fire frequency and area burned in the Roraima savannas of Brazilian Amazonia. *Forest Ecological. Management*, v. 204, p. 371-384, 2005.

BISQUERT, M.; CASELLES, E.; SÁNCHEZ, J. M.; CASELLES, V. Application of artificial neural network and logistic regression to the prediction of forest fire danger in Galicia using MODIS data. *International Journal of Wildland Fire*, v. 21, p. 1025-1029, 2012.

BORMA S, NOBRE C. Secas na Amazônia: causas e consequências. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 1 v.

BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M. Time series analysis: forecasting and control. 1st ed. San Francisco: Holden-Day; 1970.

BRASIL. Decreto nº 2.661, de 8 de julho de 1998. Regulamenta o parágrafo único do art. 27, Brasília, DF, jul 1998.

BREIMAN L. Random forests. Machine Learning, v. 45, p. 5-32, 2001.

CABRAL, A. L. A.; MORAS FILHO, L. O.; BORGES, L. A. C. Uso do fogo na agricultura: legislação, impactos ambientais e realidade na Amazônia. Fórum Ambiental de Alta Paulista, v. 9, p. 159-172, 2013.

CARAPIÁ, V. R. Predição do índice de risco de incêndio e modelagem Computacional do comportamento do avanço da frente do Fogo no parque nacional da floresta da tijuca. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Rio de Janeiro: UFRJ. 2006.

CARDOZO F. S.; PEREIRA G; SHIMABUKURO Y. E.; MORAES E. C. Avaliação das áreas queimadas no Estado de Rondônia - Amazônia Brasileira. Revista Brasileira de Cartografia, v. 66, p. 705-716, 2014.

CARVALHO, E. V.; BATISTA, A. C.; COELHO, M. C. B.; NEVES, C. O. M.; DOS SANTOS, G. R.; GIONGO, M. Caracterização de áreas queimadas no Estado do Tocantins no ano de 2014. Floresta. V. 47, p. 269-278, 2017.

COHEN J. C. P.; BELTRÃO J. C.; GANDU A. W.; DA SILVA R. R. Influência do desmatamento sobre o ciclo hidrológico na Amazônia. Ciencia e Cultura, v. 59, p. 36-39, 2007.

COUTINHO, M. A. N.; FERNANDES, A. C. G.; SANTOS, V. G.; NASCIMENTO, C. R. Análise comparativa dos índices de vegetação NDVI, SAVI, RATIO e IAF para identificação de queimadas. Caderno Ciências Agrárias, v. 8, p. 70-81, 2016.

DALAPICOLLA, J. Tutorial de modelos de distribuição de espécies: guia prático usando o MaxEnt e o ArcGIS 10. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2016. 1 v. Disponível em: <<http://blog.ufes.br/lamab/tutoriais>> Acesso em: 12 de maio de 2018.

ESPINOSA, M. M.; PRADO, S. M.; GHELLERE, M. Uso do modelo SARIMA na previsão do número de focos de calor para os meses de junho a outubro no Estado do Mato Grosso. Ciência e Natura, v. 32, p. 7-21, 2010.

FEARNSIDE, P. M.; LAURANCE, W. F.; COCBRANE, M. A.; BERGEN, S.; SAMPAIO, P. D.; BARBER, C.; D'ANGELO, S. O futuro da Amazônia: modelos para prever as consequências da infraestrutura futura nos planos plurianuais. Novos Cadernos, v. 15, p. 25-52, 2012.

FERNANDES, M. C.; COURA, P. H. F.; SOUSA, G. M.; AVELAR, A. S. Avaliação geocológica de susceptibilidade à ocorrência de incêndios no estado do Rio de Janeiro, Brasil. Floresta e Ambiente, v. 18, p. 299-309, 2011.

- FERNANDES, V. O.; PITOMBO, C. S.; ALIXANDRINI JUNIOR, M. J.; SANTOS, D. V. C. Aplicação conjunta de técnicas de análise multivariada de dados e análise espacial exploratória para avaliação do desempenho do transporte público. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIA DA GEOINFORMAÇÃO, 4, 2012, Recife. Anais Eletrônicos. Recife: Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco, 2012, p. 001-009. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/8401/1/ANPET%20FINAL%202010%20VFINALissima_1.pdf> Acesso em: 07 de fevereiro de 2020.
- FLECK, L.; TAVARES, M. H. F.; EYNG, E.; HELMANN, A. C.; ANDRADE, M. A. M. Redes neurais artificiais: princípios básicos. Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia, v. 1, p. 47-57, 2016.
- FONSECA M. G.; ARAGÃO L. E. O. C.; LIMA A.; SHIMABUKURO Y. E.; ARAI E.; ANDERSON L. O. Modelling fire probability in the Brazilian Amazon using the maximum entropy method. International Journal of Wildland Fire, v. 25, p. 955-969, 2016.
- FONSECA, M. G.; ANDERSON, L. O.; ARAI, E.; SHIMABUKURO, Y. E.; XAUD, H. A. M.; XAUD, M. R.; MADANI, N.; WAGNER, F. H.; ARAGÃO, L. E. O. C. Climatic and anthropogenic drivers of northern Amazon fires during the 2015-2016 El Niño event. Ecological Applications, v. 27, p. 2514-2527, 2017.
- GIANNINI T. C.; SIQUEIRA M. F.; ACOSTA A. L.; BARRETO, F. C. C.; SARAIVA, A. M.; ALVES-DOS-SANTOS, I. Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies. Rodriguésia, v. 63, p. 733-749, 2012.
- GOLDARAG Y. J.; MOHAMMADZADEH A.; ARDAKANI A. S. Fire risk assessment using neural network and logistic regression. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, v. 44, p. 885-894, 2016.
- GONÇALVES, K. S.; CASTRO, H. A.; HACON, S. S. As queimadas na região amazônica e o adoecimento respiratório. Ciência e Saúde Coletiva, v. 17, p. 1523-1532, 2012.
- HONGYU K.; SANDANIELO V. L. M.; OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. Engineering and Science, v. 5, p. 83-90, 2015.
- IBARRA-MONTOYA J. L.; HUERTA-MARTÍNEZ F. M. Modelado espacial de incêndios: una herramienta predictiva para el Bosque La Primavera, Jalisco México. Ambiente & Água, v. 11, p. 35-49, 2016.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico da vegetação brasileira. 2004. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/ManualdeGeociencias/Manual%20Tecnico%20da%20Vegetacao%20Brasileira%20n.1.pdf>> Acesso em: 12 de abril de 2019.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapas regionais. 2014. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html>> Acesso em: 31 de janeiro de 2019.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Banco de dados geomorfométricos do Brasil – TOPODATA. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>> Acesso em: 28 de outubro de 2018.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios. 2016. Disponível em: <<http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal>> Acesso em: 14 de fevereiro de 2019.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. PRODES – Amazônia. 2018. Disponível em: < <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>>. Acesso em: 14 de agosto de 2019.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. PRODES – Amazônia. 2020. Disponível em: < <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>>. Acesso em: 10 de junho de 2020.

IPAAM – Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas. Portaria IPAAM nº 127 de 17 de Agosto de 2010. Estabelece calendário de restrições para o uso do fogo. Manaus, AM, ago 2010.

JAYNES, E.T. Information theory and statistical mechanics. *Physical Review*, v. 106, p. 620–630, 1957.

LEONEL, M. O uso do fogo: o manejo indígena e a piromania da monocultura. *Estudos Avançados*, v. 14, p. 231-250, 2000.

LUCIARDO, R. O.; CUNHA, N. R. S.; JUNIOR, A. G. S. Identificação e proposição de métodos de valoração econômica dos efeitos das queimadas no estado de Mato Grosso. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL (SOBER), 42, 2004, Ribeirão Preto. Anais Eletrônicos. Ribeirão Preto: SOBER, 2004, p. 1-14. Disponível em: <http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/material3os/2004_Luciardo_QueimadasMT_XLIISOBER_DE3ospdf.pdf> Acesso em: 12 de dezembro de 2019.

MALLMAN, C. L.; PRADO, D. A.; PEREIRA FILHO, W. Índice de vegetação por diferença normalizada para caracterização da dinâmica florestal no parque estadual Quarta Colônia, estado do Rio Grande do Sul – Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 8, p. 1454-1469, 2015.

MAPBIOMAS – Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil. Cobertura e Uso do Solo. 2018. Disponível em: <<https://plataforma.mapbiomas.org/map#coverage>> Acesso em 13 de maio de 2020.

MARCOS JÚNIOR, P.; SIQUEIRA, M. R. Como determinar a distribuição potencial de espécies sob uma abordagem conservacionista? *Megadiversidade*, v. 5, p. 66-76, 2009.

MARTINS, P. A. S. Normais climatológicas, balanço hídrico e classificação climática para a mesorregião sul do Amazonas. 2019. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Amazonas, Humaitá, 2019.

MASSADA, A. B.; SYPHARD, A. D.; STEWART, S. I.; RADELOFF, V. C. Wildfire ignition-distribution modelling: a comparative study in the Huron-Manistee National Forest, Michigan, USA. *International Journal of Wildland Fire*, v. 22, p. 174-183, 2013.

MCCORMICK, R. J.; BRANDNER, T. A.; ALLEN, T. F. H. Toward a Theory of Meso-scale Wildfire Modeling - A Complex Systems Approach Using Artificial Neural Networks. In: NEUENSCHWANDERV, L. F.; RYAN, K. C.; GOLLBERG, G. E.; GREER, J. D. Proceedings from The Joint Fire Science Conference and Workshop. Moscow: University of Idaho and the International Association of Wildland Fire, 2000, p. 3-15.

MELO, M. M.; SAITO, C. H. Regime de queima das caçadas com uso do fogo realizadas pelos xavantes no cerrado. *Biodiversidade Brasileira*, v. 1, p. 97-109, 2011.

MISTRY, J.; BIZERRIL, J. Por que é importante entender as interrelações entre pessoas, fogo e áreas protegidas? *Biodiversidade Brasileira*, v. 1, n. 2, p. 40-49, 2011.

- MORELLO, T. F.; RAMOS, R.; STEIL, L.; PARRY, L.; BARLOW, J.; MARKUSSON, N.; et al. Queimadas e incêndios na Amazônia Brasileira: por que as políticas públicas tem efeito limitado? *Ambiente & Sociedade*, v. 20, p. 19-37, 2017.
- NEPSTAD, D., CARVALHO, G., BARROS, A.C., ALENCAR, A., CAPOBIANCO, J.P., BISHOP, J., MOUTINHO, P., LEFEBVRE, P., SILVA, L.S.. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of the Amazon forests. *Forest Ecology and Management*, v. 154, p. 1–13, 2001.
- NOGUEIRA, C. B. C.; OSOEGAWA, D. K.; ALMEIDA, R. L. de. Políticas desenvolvimentistas na Amazônia: análise do desmatamento nos últimos dez anos (2009-2018). *Revista Culturas Jurídicas*, v. 6, p. 145-169, 2019.
- NWCG - National Wildfire Coordinating Group. Glossary A-Z. 2019. Disponível em: <https://www.nwcg.gov/glossary/a-z#letter_w>. Acesso em: 03 de janeiro de 2019.
- OLIVEIRA S.; FRIDERIKE O.; SAN-MIGUEL-AYANS J.; CAMIA A, PEREIRA J. M. C. Modeling spatial patterns of fire occurrence in Mediterranean Europe using Multiple Regression and Random Forest. *Forest Ecology and Management*, v. 275, p. 117-129, 2012.
- PEDREIRA JUNIOR, A. L.; QUERINO, C. A. S.; QUERINO, J. K. A. S; SANTOS, L. O. F.; MOURA, A. R. M.; MACHADO, N. G.; BIUDES, M. S. Variabilidade horária e intensidade sazonal da precipitação no município de Humaitá – Am. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 22, p. 463-475, 2018.
- PHILLIPS S. J.; ANDERSON R. P.; DUDÍK, M.; SCHAPIRE, R. E.; BLAIR, M. E. Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography*, v. 40, p. 887-893, 2017.
- PHILLIPS S. J.; ANDERSON R. P.; SCHAPIRE R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, v. 190, p. 231-259, 2006.
- PIROMAL, R. A. S.; RIVERA-LOMBARDI, R. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; FORMAGGIO, A. R.; KRUG, T. Utilização de dados MODIS para detecção de queimadas na Amazônia. *Acta Amazônica*, v. 38, p. 77-84, 2008.
- RENARD, Q.; PÉLISSIER, R.; RAMESH, B. R.; KODANDAPANI, N. Environmental susceptibility model for predicting forest fire occurrence in the Western Ghats of India. *International Journal of Wildland Fire*, v. 21, 368–379, 2012.
- RIBEIRO, S.; ALMEIDA, O.; ÁVILA, S.; OLIVEIRA, W. Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. *Nova Economia*, v. 19, p. 41-66, 2009.
- RODRIGUES, E. S. DA C.; RODRIGUES, F. A.; ROCHA, R. L. A.; CORREA, P. L. P. An Adaptive Maximum Entropy Approach for Modeling of Species Distribution. In: WORKSHOP DE TECNOLOGIA ADAPTATIVA, 4, 2010, Sao Paulo. Anais Eletrônicos. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2010, p. 108-117. Disponível em: <www.pcs.usp.br/~lta/artigos/memorias-wta2010.pdf>. Acesso em: 15 de novembro de 2018.
- SABINO, C. V. S.; LAGE, L. V.; ALMEIDA, K. C. B. Uso de métodos estatísticos robustos na análise ambiental. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 19, p. 87-94, 2014.
- SANTOS, T. O.; ANDRADE FILHO, V. S.; ROCHA, V. M.; MENEZES, J. S. Os impactos do desmatamento e queimadas de origem antrópica sobre o clima da Amazônia Brasileira: um estudo de revisão. *Revista Geografia Acadêmica*, v. 11, p. 157-181, 2017.

SILVA, G. F. N.; TAVARES JÚNIOR, S. S.; EVANGELISTA, R. A. O.; OLIVEIRA JÚNIOR, M. C. M. Integração digital e análise espacial aplicadas ao estudo da suscetibilidade a incêndios florestais em Apiaú e Ribeiro Campos – Roraima. *Floresta*, v. 38, p. 683-697, 2008.

SILVA JÚNIOR, L. A. S.; DELGADO, R. C.; WANDERLEY, H. S. Estimativa da temperatura de superfície por sensoriamento remoto para a região da Amazônia Ocidental Brasileira. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 11, p. 237-250, 2018.

SILVÉRIO D.; SILVA, S.; ALENCAR, A.; MOUTINHO, P. Amazônia em chamas: nota técnica nº 1. Brasília: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2019. Disponível em: <https://ipam.org.br/wp-content/uploads/2019/08/NotaTe%CC%81cnica_AmazoniaemChamas-pt.pdf>. Acesso em: 3 de março de 2020

SILVESTRINI, R. A.; SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D.; COE, M.; RODRIGUES, H.; ASSUNÇÃO, R. Simulating fire regimes in the Amazon in response to climate change and deforestation. *Ecological Applications*, v. 21, p. 1573–1590, 2011.

SODRÉ G. R. C.; DE SOUZA E. B.; DE OLIVEIRA J. V.; MORAES B. C. Cálculo de risco e detecção de queimadas: uma análise na Amazônia Oriental. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, v. 49, p. 1-14, 2018.

SOUZA, S. A. S.; QUERINO, C. A. S. Q.; QUERINO, J. K. A. S.; MARTINS, P. A. S.; SILVA, P. C. S. Efeito do El Niño na precipitação em Boca do Acre e Lábrea, Mesorregião Sul do Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 21, 2019, Catalão. *Anais Eletrônicos*. Catalão: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2019. p. 1-12a. Disponível em: <https://cbagro2019.com.br/files/anais_cbagro_completo_final.pdf> Acesso em: 06 de fevereiro de 2020.

SOUZA, S. A. S.; QUERINO, C. A. S.; QUERINO, J. K. A. S.; MARTINS, P. A. S. M.; NASCIMENTO, I. R. N. Impactos do La Niña, categoria forte, na precipitação do município de Apuí – AM. In: FÓRUM LATINO-AMERICANO DE ENGENHARIA E SUSTENTABILIDADE, 17, 2019, João Pessoa. *Anais Eletrônicos*. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba – UFPB, 2019. p. 1-9b. Disponível em: <even3.blob.core.windows.net> Acesso em: 18 de fevereiro de 2020.

TAVARES, L.; CORDEIRO, L. Perfil socio econômico e ambiental do sul do estado do Amazonas: subsídios para Análise da Paisagem. Brasília: WWF-Brasil, 2017. 1 v.

TORRES, F. T. P.; ROQUE, M. P. B.; LIMA, G. S.; MARTINS, S. B.; FARIA, A. L. L. Mapeamento de risco de incêndios florestais utilizando técnicas de geoprocessamento. *Floram*, v. 24, p. 1-10, 2017.

VASCONCELOS S. S.; FEARNSSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A.; NOGUEIRA, E. M.; OLIVEIRA, L. C.; FIGUEIREDO, E. O. Forest fires in southwestern Brazilian Amazonia: Estimates of área and potential carbon emissions. *Forest Ecology and Management*, v. 291, 199–208, 2013.

VASCONCELOS S. S.; FEARNSSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A.; SILVA, P. R. T.; DIAS, D. V. Suscetibilidade da vegetação ao fogo no sul do Amazonas sob condições meteorológicas atípicas durante a seca de 2005. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.30, p. 134-144, 2015.

VIGANÓ, H. H. G.; SOUZA, C. C.; CRISTALDO, M. F.; NETO, J. F. R.; JESUS, L. Incêndios no Pantanal de Corumbá, MS: modelagem e previsão a partir de técnicas de análise multivariada. *Ambiente & Água*, v. 13, p. 1-13, 2018.

WHITE B. L. A. Spatiotemporal variation in fire occurrence in the state of Amazonas, Brazil, between 2003 and 2016. *Acta Amazônica*, v. 48, p. 358-367, 2018.





SOLO, ÁGUA, PLANTA E VARIÁVEIS AMBIENTAIS:

Impactos e suas transformações
no Sul do Amazonas

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

SOLO, ÁGUA, PLANTA E VARIÁVEIS AMBIENTAIS:

Impactos e suas transformações
no Sul do Amazonas

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br