

# 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](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto: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 ORGANIZADORES .....321**

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

Data de aceite: 10/03/2022

Data de submissão: 03/03/2022

### **Uilson Franciscon**

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

### **José Maurício da Cunha**

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

### **Milton César Costa Campos**

Doutor em Ciência do Solo – Universidade Federal da Paraíba  
mcesarsolos@gmail.com

### **Douglas Marcelo Pinheiro da Silva**

Doutor em Horticultura - Universidade Federal do Amazonas  
douglassmarcelo@gmail.com

### **Natasha Souza Araújo Lemos**

Mestranda em Ciências Ambientais - Universidade Federal do Amazonas  
lemos.natasha1@gmail.com

### **Elilson Gomes de Brito Filho**

Graduando em Agronomia - Universidade Federal da Paraíba  
bfsambiente@gmail.com

### **Wildson Benedito Mendes Brito**

Mestre em Agronomia Tropical - Universidade Federal do Amazonas  
wild.brito@gmail.com

**RESUMO:** A Amazônia é o maior bioma do Brasil, abrange as bacias hidrográficas do rio Amazonas, Araguaia-Tocantins, bacias costeiras do Norte Ocidental e bacias costeiras do Nordeste. A microbacia do Rio Puruzinho, está inserida em uma região onde há ocorrência exclusiva dos chamados Campos Naturais. Esse tipo de ambiente possui características peculiares, que podem estar sendo modificadas pelo uso antrópico. Nesse sentido, o uso do sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento surgem como alternativa para auxiliar a necessidade de ferramentas de baixo custo de ampla aceitação. A combinação destas técnicas nos possibilita o entendimento das relações ambientais entre a cobertura vegetal e ações antrópicas, que vem promovendo transformações dos ambientes na superfície terrestre. Assim, este trabalho teve como objetivo geral analisar a dinâmica espaço temporal dos índices de vegetação na detecção de transformações ambientais em uma microbacia hidrográfica do rio Puruzinho. A área de estudo localiza-se na região Sul do Amazonas, em uma área de abrangência do município de Humaitá, AM. A bacia do rio Puruzinho situa-se no interflúvio Purus-Madeira, Sudoeste da Amazônia Brasileira. Para o cálculo da estimativa dos Índices de vegetação e biofísicos, foi utilizado a ferramenta *Model Maker* do *software* ERDAS Imagine 2014, onde será feito o processamento da imagens e estimativas dos índices. A maior média do NDVI foi para a imagem do ano de 2010, apresentando valor médio de 0,354 e a menor média do NDVI foi para o ano de 2017, que obteve valor de

0,276. O resultado do desvio padrão do NDVI apresentou altos valores, variando entre 0,278 para a imagem do ano de 2017 e 0,358 para o ano de 2010. Esses altos valores de desvio padrão, podem ser explicados pelos diferentes tipos de ambientes na bacia, como florestas, vegetações menos densas, rios, lagos e área antropizadas. Há uma predominância na ocorrência da classe representada pela cor verde clara, para os anos 2006, 2008, 2011 e 2017, revelando uma predominância na ocorrência de vegetação menos densa para esses anos. Por outro lado, para os anos de 2010 e 2015, a cor predominante foi o verde escuro, evidenciando a ocorrência da vegetação em um estado mais denso. Com relação à média do albedo, o maior valor foi de 0,180, observado para a imagem do ano de 2017, e a menor média para o albedo (0,137) foi encontrada na imagem do ano de 2010. Temos como maior média da temperatura da superfície encontrada o valor de 29,54°C, para a imagem do ano de 2015, e a menor média encontrada, no valor de 21,75 °C, para a imagem do ano de 2008. Para os valores de máximo da temperatura de superfície, o maior valor registrado foi para a imagem do ano de 2011. A utilização dos índices biofísicos, combinados com técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, mostraram-se ferramenta imprescindível no monitoramento e detecção de áreas com transformações ambientais com uso de imagens de satélite para extensas áreas.

**PALAVRAS-CHAVE:** sensoriamento remoto, amazônia, bacia hidrográfica.

**ABSTRACT:** The Amazon is the largest biome in Brazil, encompasses the watersheds of the Amazon River, Araguaia-Tocantins, coastal basins of the North West and coastal basins of the Northeast. The microbasin of the Puruzinho River is located in a region where there is an exclusive occurrence of the so-called Natural Fields. This type of environment has peculiar characteristics, which may be being modified by anthropic use. In this sense, the use of remote sensing and geoprocessing techniques arise as an alternative to help the need for low cost tools of wide acceptance. The combination of these techniques enables us to understand the environmental relations between vegetation cover and anthropic actions, which has been promoting transformations of the environments on the terrestrial surface. The objective of this work was to analyze the dynamics of vegetation indexes in the detection of environmental transformations in a watershed of the Puruzinho river. The study area is located in the southern region of Amazonas, in an area covered by the municipality of Humaitá, AM. The Puruzinho river basin is located in the Purus-Madeira interflow, Southwest of the Brazilian Amazon. In order to calculate the estimates of vegetation and biophysical indices, the Model Maker tool of the ERDAS Imagine 2014 software was used, where image processing and index estimation will be done. The highest average of the NDVI was for the image of the year 2010, presenting an average value of 0.354 and the lowest average of the NDVI was for the year 2017, which obtained a value of 0.276. The results of the NDVI standard deviation presented high values varying between 0.278 for the year 2017 image and 0.358 for the year 2010. These high values of standard deviation can be explained by the different types of environments in the basin such as forests, less dense vegetation, rivers, lakes and anthropogenic areas. There is a predominance in the occurrence of the class represented by light green color for the

years 2006, 2008, 2011 and 2017, revealing a predominance in the occurrence of less dense vegetation for those years. On the other hand, for the years 2010 and 2015, the predominant color was dark green, evidencing the occurrence of vegetation in a denser state. Regarding the albedo average, the highest value was 0.180, observed for the image of the year 2017, and the lowest average for the albedo (0.137) was found in the image of the year 2010. We have the highest average surface temperature found the value of 29.54 ° C for the image of the year 2015 and the lowest average found in the value of 21,75 ° C for the image of the year 2008. For the values of the maximum surface temperature , the highest value recorded was for the image of the year 2011. The use of biophysical indexes, combined with remote sensing and geoprocessing techniques, proved to be an essential tool in the monitoring and detection of areas with environmental transformations using satellite images to areas.

**KEYWORDS:** remote sensing, amazon, hydrographic basin.

## 1 | INTRODUÇÃO

A Amazônia ocupa uma área de  $4,19 \times 10^6$  km<sup>2</sup> é o maior bioma do Brasil, que abrangem as bacias hidrográficas do rio Amazonas, Araguaia-Tocantins, bacias costeiras do Norte Ocidental e bacias costeiras do Nordeste. A bacia do rio Amazonas constitui a mais extensa rede hidrográfica do globo terrestre, que ocupa uma área total de 7.008.370 km<sup>2</sup>, abrangendo territórios do Brasil (63,88%), Colômbia (16,14%), Bolívia (15,61%), Equador (2,31%), Guiana (1,35%), Peru (0,60%) e Venezuela (0,11%) (SOUZA FILHO et al., 2006).

A sua ampla extensão geográfica, diversidade e complexidade de seus ecossistemas, fazem com que o sensoriamento remoto seja uma ferramenta indispensável para o monitoramento ambiental na região, sendo uma tecnologia de baixo custo, de ampla aplicação e aceitação no monitoramento e mapeamento do Bioma.

A Amazônia, ao decorrer dos anos, vem sendo alvo de exploração desordenada, com o avanço no desmatamento em um ritmo alarmante. Nesse sentido, os diferentes bioma na região vêm sofrendo impactos em sua cobertura vegetal, causado por atividades antrópicas, assim como impulsionadas por práticas como grilagem de terras, extração ilegal de madeira e transformação de imensas áreas de floresta em pastagens (SOUZA FILHO et al., 2006; FEARNSSIDE, 2006).

O estudo do comportamento da dinâmico da vegetação e de transformações ambientais, quando tratado de áreas extensas, pode ser realizado a partir de uso de técnicas de sensoriamento remoto, a partir de conjunto de dados provenientes de sensores orbitais, por meio das refletâncias de superfície, distribuídas em diferentes bandas espectrais e seus produtos observados com a combinação das bandas para avaliação de variáveis biofísicas.

A vegetação possui padrões de refletâncias, a partir da observação do comportamento espectral dos alvos, é possível de diferenciação quando comparados a outros materiais, diante da interação de diferentes bandas (intervalos de comprimento de onda). Assim, com

as propriedades dos vegetais, é possível estimar alguns índices de vegetação, como IAF (índice de área foliar), NDVI (índice de vegetação da diferença normalizada) e o SAVI (índice da vegetação ajustado ao solo), classificando a vegetação e gerando mapas temáticos de uso e cobertura do solo dos ambientes (MORAES,2002).

A partir do estudo dos índices biofísicos, é possível avaliar, em decorrência de uma série temporal, as alterações ocorridas na superfície da terra, tendo em vista que índices como o NDVI (oscilam entre  $-1$  e  $+1$ ) nos permite identificar e caracterizar a presença de superfície verde e sua distribuição espacial, as quais podem estar associadas às ações antrópicas ou simplesmente por variações climáticas naturais, que regem os ciclos fenológicos anuais da vegetação. O NDVI e o albedo, estão intimamente relacionados, tendo uma relação inversa, em regiões de elevada vegetação e com alta densidade o NDVI tende a ser positivo e próximo de um e o albedo tende a ser baixo e próximo de zero. Onde se tem pouca vegetação ou baixa densidade, com predomínio de solos expostos, úmidos ou espelhos d'água, o NDVI tende a ser negativo e próximo de  $-1$  e o albedo tende a ser alto, mais distante de zero e mais próximo de um.

A microbacia do Rio Puruzinho, está inserida em uma região onde há ocorrência exclusiva dos chamados Campos Naturais. Esse tipo de ambiente possui características peculiares, com intensas transformações antrópicas, inserida dentro da zona denominada de Arco do Desmatamento, áreas de intensa pressão sobre as transformações ambientais com a chegada da fronteira agrícola, que abrange o oeste e noroeste do Maranhão; o leste, sul e parte do oeste do Pará; o oeste e norte do Tocantins; o leste, centro-oeste e norte do Mato Grosso, todo o estado de Rondônia e do Acre e o sul do Amazonas.

Há muita discussão em âmbito nacional e internacional acerca das mudanças ambientais, ocasionadas por ações antrópicas sobre a superfície terrestre, promovendo mudanças climáticas, interações entre os sistemas da atmosfera, da superfície terrestre e seus impactos ambientais provocados a partir destas transformações.

A partir desta problemática, a utilização do sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento, surge como alternativa para auxiliar a necessidade de ferramentas de baixo custo e ampla aceitação. A combinação destas técnicas nos possibilita o entendimento das relações ambientais entre a cobertura vegetal e ações antrópicas que vem acontecendo sobre superfície terrestre.

Assim, objetivou-se analisar a dinâmica espaço temporal dos índices de vegetação na detecção de transformações ambientais na microbacia hidrográfica do Rio Puruzinho.



## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Area de estudo

A área de estudo localiza-se na região Sul do Amazonas no município de Humaitá, AM, a bacia do rio Puruzinho situa-se no interflúvio Purus-Madeira, Sudoeste da Amazônia Brasileira (Figura 1). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, pertence ao grupo A (Clima Tropical Chuvoso) e tipo climático Am (chuvas do tipo monção), apresentando um período seco de pequena duração. A pluviosidade está limitada pelas isoietas de 2.250 e 2.750 mm, com período chuvoso iniciando em outubro e prolongando-se até junho. As temperaturas médias anuais variam entre 25°C e 27°C e a umidade relativa fica entre 85 e 90%.

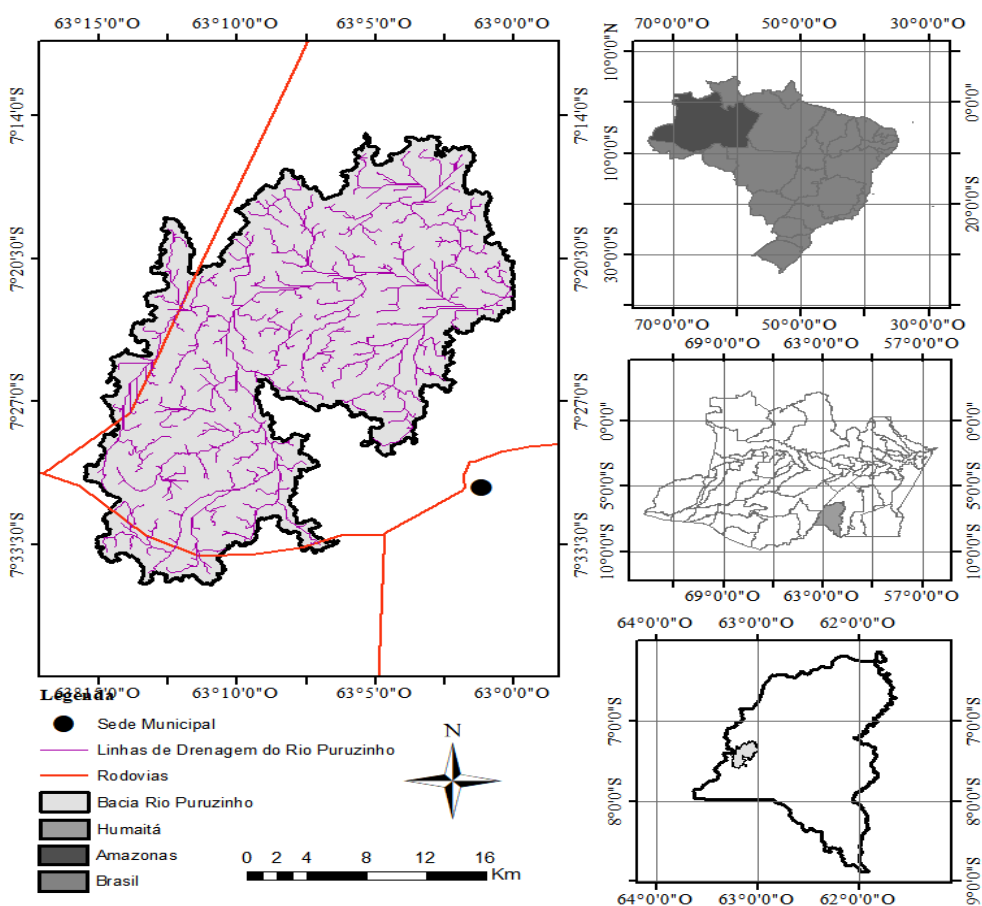


Figura 1. Localização da bacia do rio Puruzinho, Humaitá-AM.

## 2.2 Delimitação da bacia através do ARC GIS

A delimitação da área da bacia será feita com base na imagem do SRTM (Radar Shuttle Radar Topography Mission), que tem resolução espacial de 90 metros (FARR *et al.*, 2007), onde os limites da bacia serão determinados pelos padrões de drenagem e divisores de águas topográficos, utilizando o software ArcGIS versão 10.3.

Para a delimitação da bacia foi utilizada a extensão ArcHydro, selecionando um DEM (Digital Elevation Model), obtido a partir das imagens SRTM e aplicando a sequência de processos: preenchimento de sumidouros, direção do fluxo, acúmulo de fluxo, definição de fluxo, segmentação de fluxo, delimitação da rede de captação, processamento de polígono de captação, processamento de linha de drenagem, processamento adjacente de captação, processamento de pontos de drenagem, geração de pontos em lote e delimitação de bacia hidrográfica.

## 2.3 Imagens Orbitais

As imagens utilizadas neste estudo serão obtidas pelo TM (Thematic Mapper) - Landsat 5 e OLI/TIRS (Operational Land Imager / Thermal Infrared Sensor) - Landsat 8, que são disponibilizadas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Para aquisição, será utilizado o critério de ausência de nuvens para a área delimitada, recortadas as cenas conforme a área de estudo, entre os anos de 2006 a 2017, na mesma época do ano, em dias próximos para todos os anos (Tabela 1).

Data da imagem	Orbita/ponto	Satélite	DSA	Hora da passagem	E (graus)
23/07/2006	232/65	Landsat 5	204	14:13:26	49,2194
28/07/2008	232/65	Landsat 5	209	14:06:31	48,7243
02/07/2010	232/65	Landsat 5	183	14:10:51	47,3334
06/08/2011	232/65	Landsat 5	218	14:08:59	50,5110
01/08/2015	232/65	Landsat 8	213	14:19:56	51,3799
06/08/2017	232/65	Landsat 8	218	14:20:18	52,4322

Tabela 1. Dados da imagens de satélite utilizadas neste estudo.

DSA= dia sequencial do ano; E (graus) = ângulo de elevação do sol.

No Mapeador Temático (TM) Landsat 5 as imagens serão compostas por sete bandas espectrais, cujas características estão contidas abaixo na Tabela 2. Nesta tabela também estão incluídas a irradiância solar monocromática ( $K_{\lambda_i}$ ) das bandas reflectivas (bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7), incidente sobre uma superfície normal à direção dos raios solares no topo da atmosfera terrestre. O sensor TM mede a radiância espectral dos alvos e armazena-os na forma de níveis de cinza, ou número digital (ND), cujos valores variam de 0 a 255 (8

bits), apresentando resolução espacial de 30 m, exceto na banda termal (banda 6), com resolução de 120 m.

Bandas	Comprimento de Onda	Resolução Espacial (m)	Coeficientes de Calibração ( $Wm^{-2} sr^{-1} \mu m$ )		Irradiância Espectral no Topo da Atmosfera ( $Wm^{-2} \mu m^{-1}$ )
	( $\mu m$ )		a	b	
1 (azul)	0,45 – 0,52	30	-1,52	193	1957
2 (verde)	0,52 – 0,60	30	-2,84	365	1826
3 (vermelho)	0,63 – 0,69	30	-1,17	264	1554
4 (IV-próximo)	0,76 – 0,79	30	-1,51	221	1036
5 (IV-médio)	1,55 – 1,75	30	-0,37	30,2	215
6 (IV-termal)	10,4 – 12,5	120	1,2378	15,303	-
7 (IV-médio)	2,08 – 2,35	30	-0,15	16,5	80,67

Tabela 2. Descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) do Landsat 5, com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima – a e máxima – b) e irradiâncias espectrais.

Fonte: Chander e Markham (2003) e Allen et al., (2002).

No Operational Land Imager (OLI) e Thermal Infrared Sensor (TIRS) do satélite Landsat 8, cada imagem OLI é composta de nove bandas espectrais (bandas um a nove) e o TIRS possui duas bandas espectrais (bandas 10 e 11), cujas principais características de ambos estão representadas na Tabela 3. A resolução espacial das imagens OLI é de 30 m, exceto a banda pancromática (banda 8), com 15 m. As bandas 10 e 11, relativas ao sensor TIRS, possuem resolução de 100 m, mas são disponibilizadas com 30 m. Todas as imagens OLI/TIRS possuem resolução espectral de 12 bits, mas são disponibilizadas em 16 bits, o que significa que a intensidade de cada pixel varia entre 0 a 65.535, assegurando um maior nível de informação das áreas imageadas.

Bandas	Comprimento de Onda ( $\mu\text{m}$ )	R E (m)	Coeficientes de Calibração de Reflectância	
			Fator multiplicativo( $m_p$ )	Fator Aditivo ( $A_p$ )
1 OLI- Costal aerosol	0,43-0,45	30	0,00002	-0,1
2 OLI - Azul	0,45-0,51	30	0,00002	-0,1
3 OLI - Visível Verde	0,53-0,59	30	0,00002	-0,1
4 OLI - Visível Vermelho	0,64-0,67	30	0,00002	-0,1
5 OLI - IV Próximo	0,85-0,88	30	0,00002	-0,1
6 OLI - IV Médio (SWIR) 1	1,57-1,65	30	0,00002	-0,1
7 OLI - IV Médio (SWIR) 2	2,11-2,29	30	0,00002	-0,1
8 OLI - Pancromática	0,50-0,68	15	0,00002	-0,1
9 OLI - Cirrus	1,36-1,38	30	0,00002	-0,1
10 TIRS-IV térmico (TIRS)1	10,60-11,19	30	-	-
11 TIRS-IV térmico (TIRS)2	11.50-12.51	30	-	-

Tabela 3. Descrição dos coeficientes de calibração do OLI - Landsat 8 e características das bandas espectrais.

IV= Infravermelho; RE= Resolução Espacial; Comp. = comprimento.

Fonte: USGS,2017.

## 2.4 Processamento das imagens

Para o cálculo da estimativa dos Índices de vegetação e biofísicos, foi utilizado a ferramenta *Model Maker* do software ERDAS Imagine 2014, onde será feito o processamento da imagens e estimativas a partir de modelos que serão descritos na etapas a seguir, na figura 2 será apresentado um fluxograma com as etapas realizadas no processamento das imagens.

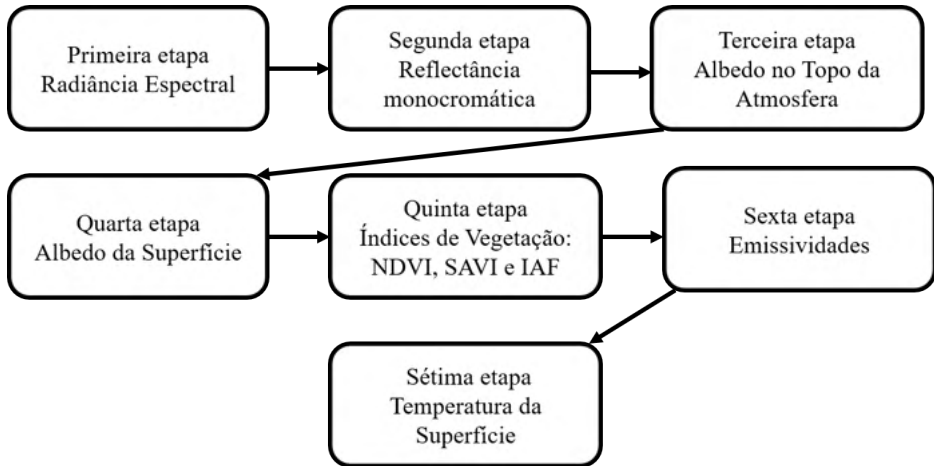


Figura 2. Fluxograma das etapas do processamento das imagens.

### 2.4.1 Calibração radiométrica

Para as imagens do Landsat 5, o cômputo da irradiância solar monocromática ( $K_{\lambda_i}$ ) ou seja, efetivação da Calibração Radiométrica, em que o número digital (ND) de cada pixel da imagem é convertido em radiância espectral monocromática, essas radiâncias representam a energia solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida no nível do satélite Landsat 5 (705 Km), para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Para a banda 6, essa radiância representa a energia emitida por cada pixel. A obtenção da radiância de cada banda é feita segundo a equação de Markham and Baker (1987):

$$L_{\lambda_i} = a_i + \left( \frac{b_i - a_i}{255} \right) ND,$$

onde  $L_{\lambda_i}$  é radiância espectral monocromática,  $a$  e  $b$  são as radiâncias espectrais mínimas e máximas ( $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ ) conforme a tabela 1,  $ND$  é a intensidade do pixel (número digital – número inteiro de 0 a 255) e  $i$  corresponde as bandas (1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7) do satélite Landsat 5.

Para as imagens do Landsat 8, a conversão de níveis de cinza da imagem para radiância foi feita usando os fatores de redimensionamento fornecidos no arquivo de metadados da imagem, conforme a equação (USGS, 2014):

$$L_{\lambda} = M_L \cdot Q_{cal} + A_L,$$

onde:

$L_{\lambda}$  = radiância espectral no topo da atmosfera;

$M_L$  = Fator de redimensionamento multiplicativo específico da banda;

$A_L$  = Fator de redimensionamento aditivo específico da banda;

$Q_{cal}$  = Valores de pixel de produto padrão (DN) quantizados e calibrados.

## 2.4.2 Reflectância monocromática

Para as imagens do Landsat 5, o cômputo da reflectância monocromática de cada banda ( $\rho_{\lambda_i}$ ), definida como sendo a razão entre o fluxo de radiação solar refletida e o fluxo de radiação solar incidente que é obtida segundo a equação (ALLEN *et al.*, 2002):

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{K_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot d_r},$$

onde  $L_{\lambda_i}$  é a radiância espectral de cada banda,  $K_{\lambda_i}$  é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ( $Wm^{-2} \mu m^{-1}$ , Tabela 1),  $Z$  é o ângulo zenital solar (que pode ser obtido no próprio catálogo de imagens do INPE) e é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol ( $r_o$ ) e a distância Terra-Sol ( $r$ ) em dado dia do ano (DSA), que de acordo com Iqbal (1983), é dado por:

$$d_r = 1 + 0,033 \cos(DSA \cdot 2\pi / 365),$$

onde DSA representa o dia sequencial do ano e o argumento da função  $\cos$  está em radianos. O valor médio anual de  $d_r$  é igual a 1,00 e o mesmo varia entre 0,97 e 1,03, aproximadamente. Quando a área de estudo tem pequena, ou mesmo, declividade nula, o cosseno do ângulo de incidência da radiação solar é simplesmente obtido a partir do ângulo de elevação do Sol –  $E$ , que se encontra no cabeçalho da imagem landsat, ou seja:

$$\cos z = \cos\left(\frac{\pi}{2} - E\right) = \sin(E),$$

em que o argumento do cosseno está em radiano.

Para as imagens do Landsat 8, a conversão de níveis de cinza da imagem para reflectância foi feita usando coeficientes de reescalonamento fornecidos no arquivo de metadados na imagem ,utilizando a equação, conforme USGS (2014):

$$\rho_{\lambda}' = M_p \cdot Q_{cal} + A_p$$

Onde:

$\rho_{\lambda}'$  = reflectância planetária no topo da atmosfera, sem correção para o ângulo solar;

$M_p$  = fator multiplicativo de conversão específico para cada banda espectral;

$A_p$  = fator aditivo ;

$Q_{cal}$  = Valores de pixel de produto padrão (DN) quantizados e calibrados.

A reflectância planetária no topo da atmosfera com uma correção para o ângulo do sol é obtida pela equação:

$$\rho_{\lambda} = \frac{\rho_{\lambda}'}{\cos(\theta_{SZ})} = \frac{\rho_{\lambda}'}{\sin(\theta_{SE})}$$

Onde:

$\rho_{\lambda}$  = reflectância planetária TOA;

$\theta_{SE}$  = ângulo local de elevação do sol. O ângulo de elevação do sol do centro da cena em graus é fornecido nos metadados;

$\theta_{SZ}$  = Ângulo do zênite solar local,  $\theta_{SZ} = 90^{\circ} - \theta_{SE}$ .

### 2.4.3 Albedo no Topo da Atmosfera

Para o Landsat 5, o cômputo do albedo planetário ( $\alpha_{toa}$ ), isto é, o albedo não ajustado a transmissividade atmosférica, foi obtida pela combinação linear das reflectâncias monocromáticas, representadas na equação abaixo:

$$\alpha_{toa} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,157\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_7$$

onde  $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5$  e  $\rho_7$  são os albedos planetários das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Os coeficientes de proporcionalidade da refletância para cada banda (ou peso de cada banda) correspondem ao valor da irradiância solar monocromática –  $I_{sol,b}$  de dada banda (Tabela 1) pela somatória das irradiâncias de todas as bandas -  $\sum I_{sol,b}$ , ou seja: peso da banda  $b = I_{sol,b} / \sum I_{sol,b}$ .

Para o Landsat 8, o albedo no topo da atmosfera, foi obtido combinação linear das refletâncias espectrais  $\rho_{\lambda,b}$ , com seus respectivos pesos  $\bar{\omega}_{\lambda,b}$ , estabelecido para cada banda, pela equação:

$$\alpha_{toa} = (\bar{\omega}_2 * \rho_{\lambda,2}) + (\bar{\omega}_3 * \rho_{\lambda,3}) + (\bar{\omega}_4 * \rho_{\lambda,4}) + (\bar{\omega}_5 * \rho_{\lambda,5}) + (\bar{\omega}_6 * \rho_{\lambda,6}) + (\bar{\omega}_7 * \rho_{\lambda,7})$$

Em que cada peso é obtido pela razão entre a constante solar específica da banda ( $ESUN_{\lambda,b}$ ) e a somatória de todas as constantes, conforme a equação:

$$\bar{\omega}_{\lambda,b} = \frac{ESUN_{\lambda,b}}{\sum ESUN_{\lambda,b}}$$

Apresentados na **tabela 4**.

Bandas	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7
$\bar{\omega}_n$	0,300	0,277	0,233	0,143	0,036	0,012
$ESUN_{\lambda,b}$	2011,3	1853	1532,8	956,4	237,8	80,2

Tabela 4. Coeficientes dos pesos ( $\bar{\omega}_n$ ) para o cálculo do albedo planetário através do uso de imagens Landsat 8.

Fonte: Silva et al., (2016).

#### 2.4.4 Albedo da Superfície

Nesta etapa obtém-se o cômputo do albedo da superfície ou albedo corrigido para os efeitos atmosféricos  $\alpha$ , pela equação:

$$\alpha = \frac{\alpha_{\text{toa}} - \alpha_p}{\tau_{\text{sw}}}$$

onde  $\alpha_{\text{toa}}$  é o albedo planetário,  $\alpha_p$  é a reflectância da própria atmosfera, que varia entre 0,025 e 0,04, mas para o modelo SEBAL tem sido recomendado o valor de 0,03, com base em Bastiaanssen (2000) e  $\tau_{\text{sw}}$  é a transmissividade atmosférica que para condições de céu claro, pode ser obtida por (Allen *et al.*, 2002):

$$\tau_{\text{sw}} = 0,75 + 2.10^{-5} z$$

onde  $z$  é a altitude de cada pixel (m). Se o usuário já dispuser de um Modelo Digital de Elevação (DEM) da sua área de interesse, o mesmo poderá calcular a transmissividade de cada pixel, o que é recomendado para áreas com topografia muito acentuada.

#### 2.4.5 Índices de Vegetação: NDVI, SAVI e IAF

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), é obtido através da razão entre a diferença das refletividades do Infravermelho (IV) próximo ( $\rho_{\text{IV}}$ ) e do vermelho ( $\rho_{\text{V}}$ ), pela soma das mesmas:

$$\text{NDVI} = \frac{\rho_{\text{IV}} - \rho_{\text{V}}}{\rho_{\text{IV}} + \rho_{\text{V}}}$$

Para o cálculo do Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (SAVI) que é um índice que busca amenizar os efeitos do “background” do solo, tem sido utilizada a expressão (HUETE, 1988):

$$\text{SAVI} = \frac{(1+L)(\rho_{\text{IV}} - \rho_{\text{V}})}{(L + \rho_{\text{IV}} + \rho_{\text{V}})}$$

onde o fator  $L$  é uma função do tipo de solo. Em estudo recente, utilizamos  $L = 0,1$ , embora o seu valor mais frequente seja  $L = 0,5$  (HUETE & WARRICK, 1990; ACCIOLY *et al.*, 2002; BOEGH *et al.*, 2002).

O Índice de Área Foliar (IAF) é definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação. O IAF é um indicador da biomassa de cada pixel da imagem e o mesmo foi computado pela seguinte equação empírica obtida por Allen *et al.* (2002):

$$\text{IAF} = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - \text{SAVI}}{0,59}\right)}{0,91}$$



### 2.4.6 Emissividades

Para a obtenção da temperatura da superfície, é utilizada a equação de Planck invertida, válida para um corpo negro. Como cada pixel não emite radiação eletromagnética como um corpo negro, há a necessidade de introduzir a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal  $\varepsilon_{NB}$ , qual seja: 10,4 – 12,5  $\mu\text{m}$ . Por sua vez, quando do cômputo da radiação de onda longa emitida por cada pixel, há de ser considerada a emissividade no domínio da banda larga  $\varepsilon_0$  (5 – 100  $\mu\text{m}$ ). Segundo Allen *et al.*, (2002), as emissividades  $\varepsilon_{NB}$  e  $\varepsilon_0$  podem ser obtidas, para NDVI > 0 e IAF < 3, segundo:

$$\varepsilon_{NB} = 0,97 + 0,0033 \cdot \text{IAF}$$

$$\varepsilon_0 = 0,95 + 0,01 \cdot \text{IAF}$$

Para pixels com IAF  $\geq 3$ ,  $\varepsilon_{NB} = \varepsilon_0 = 0,98$  e para corpos de água (NDVI < 0)  $\varepsilon_{NB} = 0,99$  e  $\varepsilon_0 = 0,985$ , conforme recomendações de Allen *et al.* (2002).

### 2.4.7 Temperatura da Superfície

Para o Landsat 5, a obtenção da temperatura da superfície ( $T_s$ ) foi utilizada a radiância espectral da banda termal  $L_{\lambda,6}$  e a emissividade  $\varepsilon_{NB}$  obtida na etapa anterior. Dessa forma, obtém-se a temperatura da superfície (K) pela seguinte expressão:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)}$$

onde  $K_1 = 607,76 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$  e  $K_2 = 1260,56\text{K}$  são constantes de calibração da banda termal do Landsat5 (ALLEN *et al.*, 2002).

Para o Landsat 8, a obtenção da temperatura da superfície ( $T_s$ ) foi utilizada a radiância espectral da banda termal  $L_{\lambda,10}$ , usando as constantes térmicas fornecidas no arquivo de metadados, pela equação (USGS, 2014):

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}}\right) + 1}$$

Onde:

$T_s$  = temperatura da superfície;

$L_{\lambda}$  = Radiância espectral no topo da atmosfera;

$K_1$  = Constante de conversão térmica específica da banda dos metadados;

$K_2$  = Constante de conversão térmica específica da banda dos

## 2.5 Tratamentos dos dados

Após a obtenção dos resultados, foram feitas análises estatísticas descritiva e o desvio padrão. Foram calculados média, mínimo, máximo e desvio padrão entre os pixels para cada ano estudado na bacia, utilizando a fórmula do desvio padrão populacional. Para a análise da dinâmica espaço temporal foi calculado o desvio padrão, entre os pixels na mesma posição geográfica, utilizando a fórmula do desvio padrão amostral, para calcular o desvio padrão entre os pixels nos 6 anos estudados.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Índices de vegetação (NDVI, SAVI E IAF) em uma micro bacia do Rio Purus, Amazonas

Os resultados das análises estatísticas do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) são apresentados em relação aos anos entre 2006 e 2017 (Tabela 5), com maior média do NDVI foi para o ano de 2010, com valor médio de 0,354 e a menor média do NDVI foi para o ano de 2017 que obteve valor de 0,276. Média pouco maior (0,42), que a média do ano de 2010, foi encontrada para o NDVI, na Bacia do Rio Bacanga, São Luís (MA), em estudos de Mapeamento e comparação entre índices de vegetação utilizando imagem OLI/Landsat 8, segundo Silva *et al.* (2016).

Com relação aos valores de máximo e mínimo do NDVI, apresentou-se valores muito baixos, de - 0,975 e - 0,960, para os valores mínimos, dos anos de 2008 e 2010 respectivamente. A imagem do ano de 2010, apresentou o maior valor de máximo (0,847) e a imagem do ano de 2017 foi a que apresentou o menor valor de máximo (0,767). Com relação aos valores mínimos de NDVI, os valores próximos de -1, indicam a incidência de áreas com presença de água, ocorrência de lagos, rios ou áreas parcialmente inundadas. Os valores de máximo de NDVI representam a ocorrência de vegetação mais densa, com maior vigor de desenvolvimento vegetal, corroborando com Silva *et al.* (2005), que encontrou valores de - 0,30 e - 0,33 para lagos e valores de 0,75 e 0,78 para áreas com vegetação irrigada, para imagens dos anos de 2000 e 2001 respectivamente, em estudos sobre o balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens landsat 5 – TM, em áreas situadas nos estados de Pernambuco e Bahia.

O resultado do desvio padrão do NDVI apresentou altos valores, variando entre 0,278 para a imagem do ano de 2017 e 0,358 para o ano de 2010. Esses altos valores de desvio padrão, podem ser explicados pelos diferentes tipos de ambientes na bacia, como florestas, vegetações menos densas, rios, lagos e área antropizadas. Paiva *et al.* (2016), estudando análise dos efeitos do déficit hídrico na resposta temporal do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) no estado do Amazonas, conclui que a variação do NDVI, está relacionado diretamente com as variações na disponibilidade hídrica da região, tendo

influência nas condições fenológicas da vegetação.

Estatística	Anos					
	2006	2008	2010	2011	2015	2017
<b>Mínimo:</b>	-0,656	-0,975	-0,960	-0,768	-0,442	-0,295
<b>Máximo:</b>	0,802	0,823	0,847	0,81	0,826	0,767
<b>Média:</b>	0,351	0,339	0,354	0,321	0,285	0,276
<b>Desvio Padrão:</b>	0,291	0,317	0,358	0,336	0,307	0,278

Tabela 5. Estatística descritiva do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) para a bacia do Rio Puruzinho.

A representação dos valores de NDVI (Figura 3) para os anos de 2006, 2008, 2010, 2011, 2015 e 2017 foram apresentadas na forma de intervalos, divididas em cinco classes, a saber: com valores menores que zero representados pela cor vermelha; entre 0 e 0,25 pela cor alaranjada; entre 0,25 e 0,50 pela cor amarela; entre 0,50 e 0,70 pela cor verde claro; e valores de NDVI maior que 0,70 são representados pela cor verde escuro.

A classe representada no mapa com a cor vermelha, representa ambientes com presença de corpos hídricos, a cor alaranjada representa o ambiente de solo exposto, ambientes com predominância de gramíneas e vegetações rasteiras são representadas pela cor amarela, o verde claro representa a ocorrência de vegetação menos densa e a vegetação mais densa é representada pela cor verde escura, corroborando com Silva *et al.* (2016), que encontrou resultados semelhantes. Há uma predominância na ocorrência da classe representada pela cor verde clara, para os anos 2006, 2008, 2011 e 2017, revelando uma predominância na ocorrência de vegetação menos densa para esses anos, por outro lado para os anos de 2010 e 2015, a cor predominante foi o verde escuro, evidenciando a ocorrência da vegetação em um estado mais denso.

Os resultados das análises estatísticas do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) entre os anos de 2006 a 2017 são apresentados (Tabela 6), com média para os valores de SAVI variando entre o maior valor de 0,314 referente ao ano de 2010 e o menor valor referente ao ano de 2017. Comportamento parecido aconteceu com o NDVI, onde a maior e a menor média foi para os anos de 2010 e 2017, respectivamente.

Observa-se para os valores de mínimo e máximo do SAVI, que temos para todos os anos estudados valores negativos de mínimo, sendo a imagem do ano de 2008 que apresentou o menor valor (- 0,471) e para a imagem do ano de 2017 temos o menor valor de mínimo (-0,168). Nos resultados de máximo temos o maior valor (0,748) para a imagem do ano de 2015 e o menor valor (0,694) de máximo para a imagem do ano de 2017.

Por sua vez, o desvio padrão para o SAVI, teve comportamento parecido com o NDVI,

com o registro de altos valores de desvio padrão, podem ser esclarecidos variabilidade de ambientes distintos na bacia do Rio Puruzinho. O maior valor de desvio padrão (0,269) aconteceu para a imagem do ano de 2010 e o menor valor de desvio padrão (0,233) aconteceu para a imagem do ano de 2017.

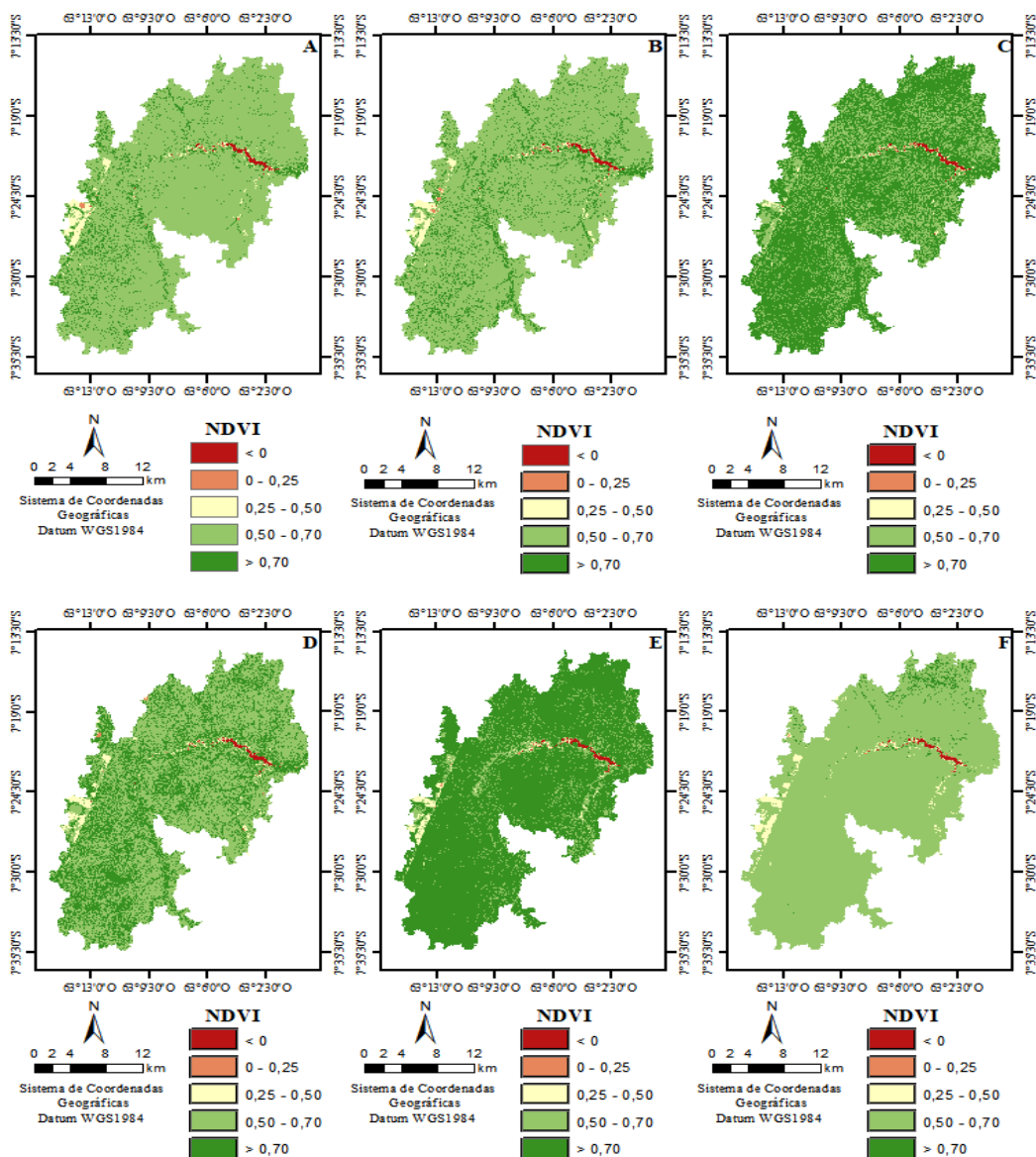


Figura 3. Distribuição espacial do NDVI, para os anos de 2006 (A), 2008 (B), 2010 (C), 2011(D), 2015(E) e 2017 (F), na bacia do Rio Puruzinho.

Estatística	Anos					
	2006	2008	2010	2011	2015	2017
Mínimo:	-0,294	-0,471	-0,356	-0,375	-0,204	-0,168
Máximo:	0,702	0,706	0,736	0,708	0,748	0,694
Média:	0,298	0,294	0,314	0,286	0,309	0,275
Desvio Padrão:	0,236	0,245	0,269	0,258	0,246	0,233

Tabela 6. Estatística descritiva do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) para a bacia do Rio Puruzinho.

Para a distribuição espacial do SAVI, na bacia do rio Puruzinho, em todos os anos estudados temos a representação ilustrada (Figura 4). A apresentação dos valores do SAVI é feita por intervalos, separadas em cinco classes, numa rampa de cores que vai do vermelho ao verde. O primeiro intervalo é ilustrado pela cor vermelha, representado os valores de SAVI menores que zero, entre 0 – 0,3 são representados pela cor alaranjada, para o intervalo entre 0,3– 0,5 a cor amarela foi a utilizada para a representação, no intervalo entre 0,5 – 0,6 a cor definida para a ilustração foi o verde claro, os valores maior que 0,6 de SAVI são representados pela cor verde escuro.

Os valores de SAVI representados pela cor vermelha, representam ambientes com presença de água, assim como os valores representadas na cor alaranjada representam áreas com solo exposto. Leite *et al.* (2017), estudando a análise temporal dos índices de vegetação NDVI e SAVI na estação experimental de Itatinga utilizando imagens Landsat 8, encontraram valor de SAVI de 0,24 para solo exposto, resultado semelhante ao encontrado por este trabalho. Assim, valores de SAVI de 0,49 foram encontradas para vegetação ripária, comparados com os resultados de trabalho representados pela cor amarela, considerados como vegetação rasteira, gramíneas ou pastagem.

Os resultados das análises estatísticas do Índice de Área Foliar (IAF) entre os anos de 2006 e 2017 são apresentados (tabela 7), com a maior média encontrada para o IAF referente a imagem do ano de 2015, com valor de 2,414 e a menor foi para a imagem do ano de 2008, com valor de 0,841. No que se refere aos valores de mínimo para o IAF, temos o maior valor de mínimo (- 0,677) para a imagem do ano de 2008 e o menor valor de mínimo (- 0,375) para a imagem do ano de 2017. Para os resultados de máximo, temos para a imagem do ano de 2015, 12,523 como maior valor de máximo e para a imagem do ano de 2017 temos o menor valor de máximo, sendo 4,535.

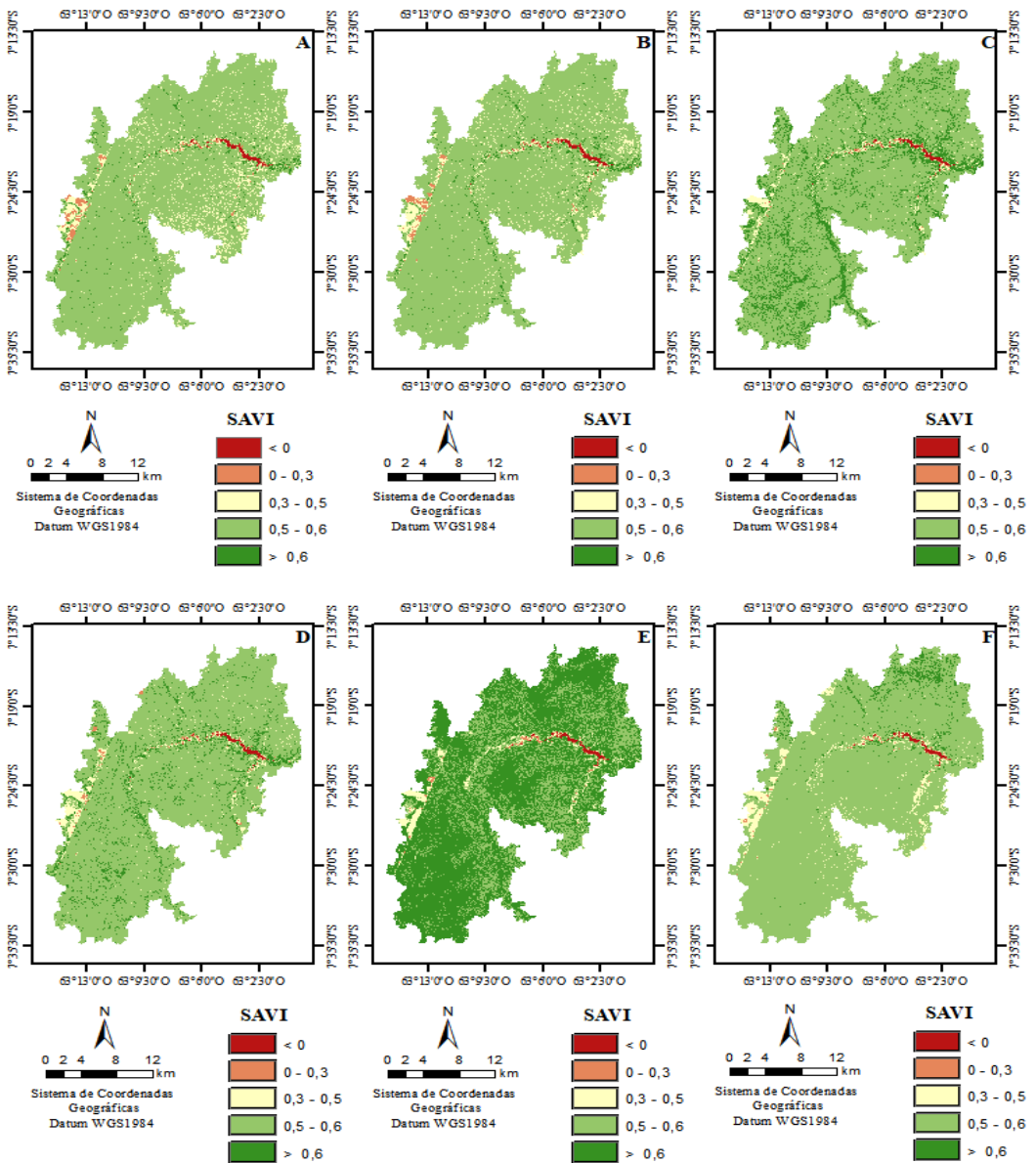


Figura 4. Distribuição espacial do SAVI, para os anos de 2006 (A), 2008 (B), 2010 (C), 2011(D), 2015(E) e 2017 (F), na bacia do Rio Puruzinho.

Os valores do desvio padrão do IAF obtiveram uma alta variação, alternando entre o maior de desvio padrão para a imagem do ano de 2015, com valor de 1,709, e o menor valor para a imagem do ano de 2006, com valor de 0,836.

Estatística	Anos					
	2006	2008	2010	2011	2015	2017
<b>Mínimo:</b>	-0,511	-0,677	-0,572	-0,590	-0,416	-0,375
<b>Máximo:</b>	8,08	4,838	9,400	9,357	12,523	4,535
<b>Média:</b>	0,859	0,841	1,055	0,875	2,414	1,285
<b>Desvio Padrão:</b>	0,836	0,837	1,055	0,946	1,709	0,950

Tabela 7. Estatística descritiva do Índice de Área Foliar (IAF) para a bacia do Rio Puruzinho.

A distribuição espacial do IAF, entre os anos de 2006 e 2017 (figura 5), ilustrando a os valores em intervalos, divididas em cinco classes, representadas por cores que vão do vermelho ao verde escuro. A primeira classe é apresentada pela cor vermelha, que representa os valores menores que zero, entre 0 – 1,0 pela cor alaranjada, entre 1,0 – 1,5 pela cor amarela, entre 1,5 – 2,0 pela cor verde clara e os valores maiores que 2 são representados pela cor verde escuro.

As áreas simbolizadas pela cor vermelha, representam áreas de rio e/ou lagos, áreas representadas pela cor alaranjada, simbolizam a ocorrência de solo exposto, ou áreas com altas características de degradação ambiental, a classe representada pela cor amarela, são áreas onde a predominância de vegetação menos densa ou gramíneas. Áreas com predominância de vegetação arbustiva são sinalizadas no mapa temático pela cor verde claro e a cor verde escuro é utilizada para representação ocorrência de vegetação mais densa ou arbórea, resultados semelhantes foram encontrados por Silva *et al.* (2016). Todos os anos analisados na bacia apresentação tem uma predominância pela classe representada pela cor amarela e verde clara, evidenciando uma maior ocorrência de vegetação rasteira/ arbustiva, uma vegetação menos densa, exceto o ano de 2015, onde há um domínio na ocorrência das cores verde claro e verde escuro, indicando uma maior densidade na vegetação para aquele ano.

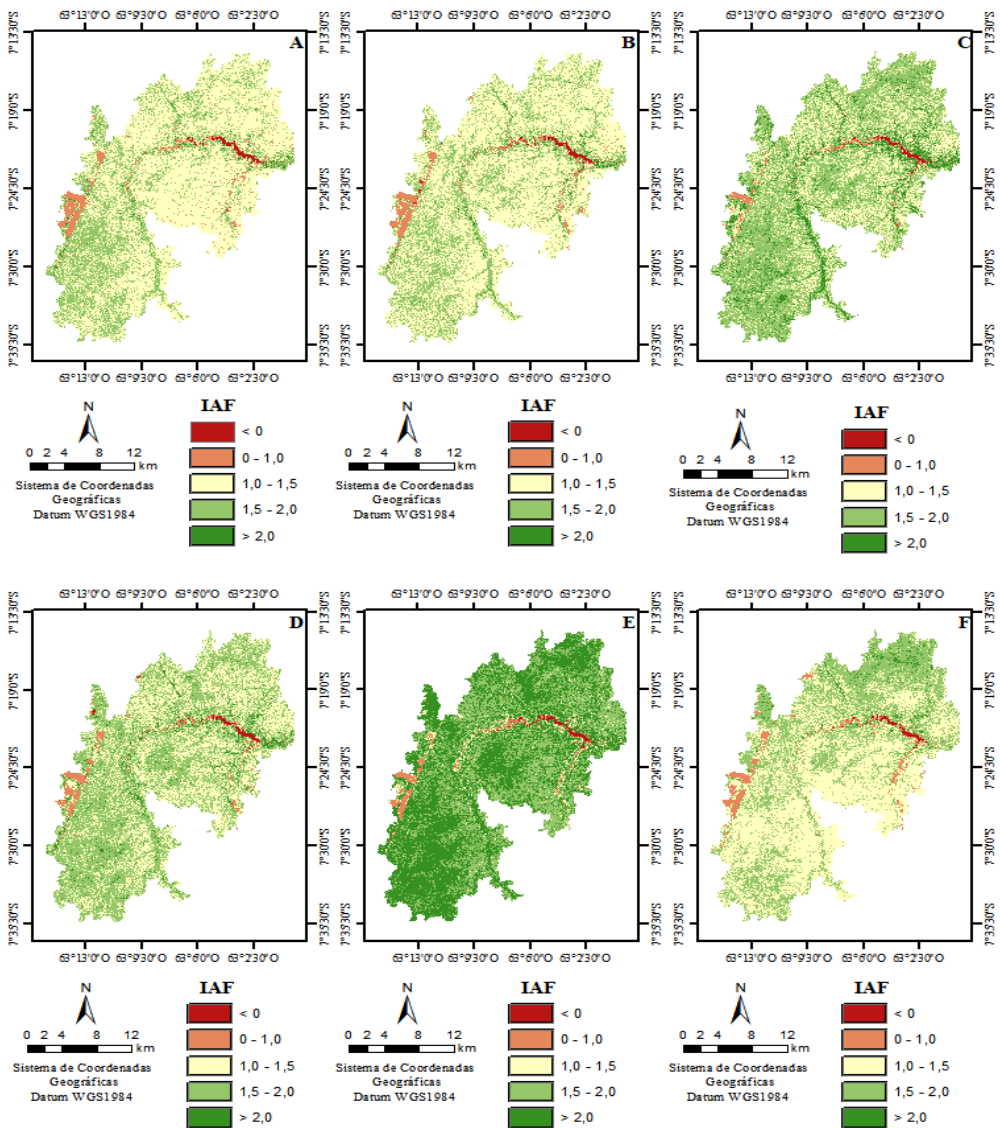


Figura 5. Distribuição espacial do IAF, para os anos de 2006 (A), 2008 (B), 2010 (C), 2011(D), 2015(E) e 2017 (F), na bacia do Rio Puruzinho.

### 3.2 Albedo e temperatura da superfície em uma micro bacia do Rio Purus, Amazonas

Os resultados de albedo de todos os anos estudados na bacia do rio Puruzinho, foram submetidos a análise estatística e os resultados são apresentados (tabela 8). Com relação a média o maior valor foi (0,180) observado para a imagem do ano de 2017 e a menor média (0,137) para o albedo foi encontrada para a imagem do ano de 2010.



Sobre os valores de ocorrência dos valores de máximo do albedo, a maior observação foi encontrada para a imagem do ano de 2006, com valor de 0,314, e o menor valor de máximo foi observado para a imagem do ano de 2015, com valor máximo de 0,277. Para os resultados de mínimo, o maior valor de mínimo, foi para a imagem do ano de 2017, com valor de 0,088 e o menor valor foi para a imagem do ano de 2010, com valor de 0,031.

No que se refere aos resultados de desvio padrão do albedo, se obteve como maior valor de desvio padrão para a imagem do ano de 2006, com valor de 0,067, e o menor valor de desvio para a imagem do ano de 2017, com valor de 0,053.

Gomes *et al.* (2017), estudando temperatura da superfície e albedo região de ilha solteira nos anos de 2010 e 2011, registraram resultados semelhantes aos encontrados acima, com média para o albedo de 0,015, valores de mínimo entre 0,020 e 0,037 e o desvio padrão de 0,032 e 0,034, ressaltando a associação dos valores de albedo com as características da superfície analisadas e os fatores climáticos para os dias observados.

Estatística	Anos					
	2006	2008	2010	2011	2015	2017
<b>Mínimo:</b>	0,048	0,043	0,031	0,039	0,036	0,088
<b>Máximo:</b>	0,314	0,291	0,295	0,287	0,277	0,283
<b>Média:</b>	0,160	0,150	0,137	0,145	0,150	0,180
<b>Desvio Padrão:</b>	0,067	0,063	0,063	0,060	0,065	0,053

Tabela 8. Estatística descritiva do Albedo para a bacia do Rio Puruzinho.

A distribuição espacial do albedo, entre os anos de 2006 e 2017 é apresentada (figura 6). A ilustração da variação espacial é feita pela atribuição de cores a intervalos de ocorrência dos valores de albedo, estes divididos em cinco. O primeiro intervalo é representado pela cor verde escuro, e ilustra no mapa temático os valores de albedo menores que 0,11. O intervalo entre 0,11 – 0,13 é representado pela cor verde claro, para o intervalo entre 0,13 – 0,15 a cor utilizada foi a amarela, o intervalo entre 0,15 – 0,18 é simbolizado pela cor alaranjada e os valores de albedo maiores que 0,18 são representados pela cor vermelha.

As cores verde escuro e claro, são as que predominam a bacia do rio Puruzinho, para os anos de 2006, 2008, 2010 e 2011, representando valores até 0,13 para o albedo. O tom mais escuro representa áreas com menores valores de albedo, até 0,11, Lopes & Valeriano, (2007), encontraram valores entre 0,02 e 0,10 de albedo para represas em furnas, no Vale do Rio Paraíba do Sul, corroborando com os resultados encontrados por Fausto *et al.*, (2016), que encontrou valores de 0,05 de albedo para superfícies de corpos d'água e com Silva *et al.* (2005) que obteve valores de 0,08 e 0,09 de albedo em lagos. Para

o tom mais claro de verde, temos valores que representam áreas com vegetação, Querino *et al.* (2006) encontrou valores similares para floresta (0,13), estudando o albedo na região Amazônica. Para os anos de 2015 e 2017 a maior ocorrência na bacia é representada pelas cores verde clara e amarela para 2015 e alaranjado e vermelho para 2017.

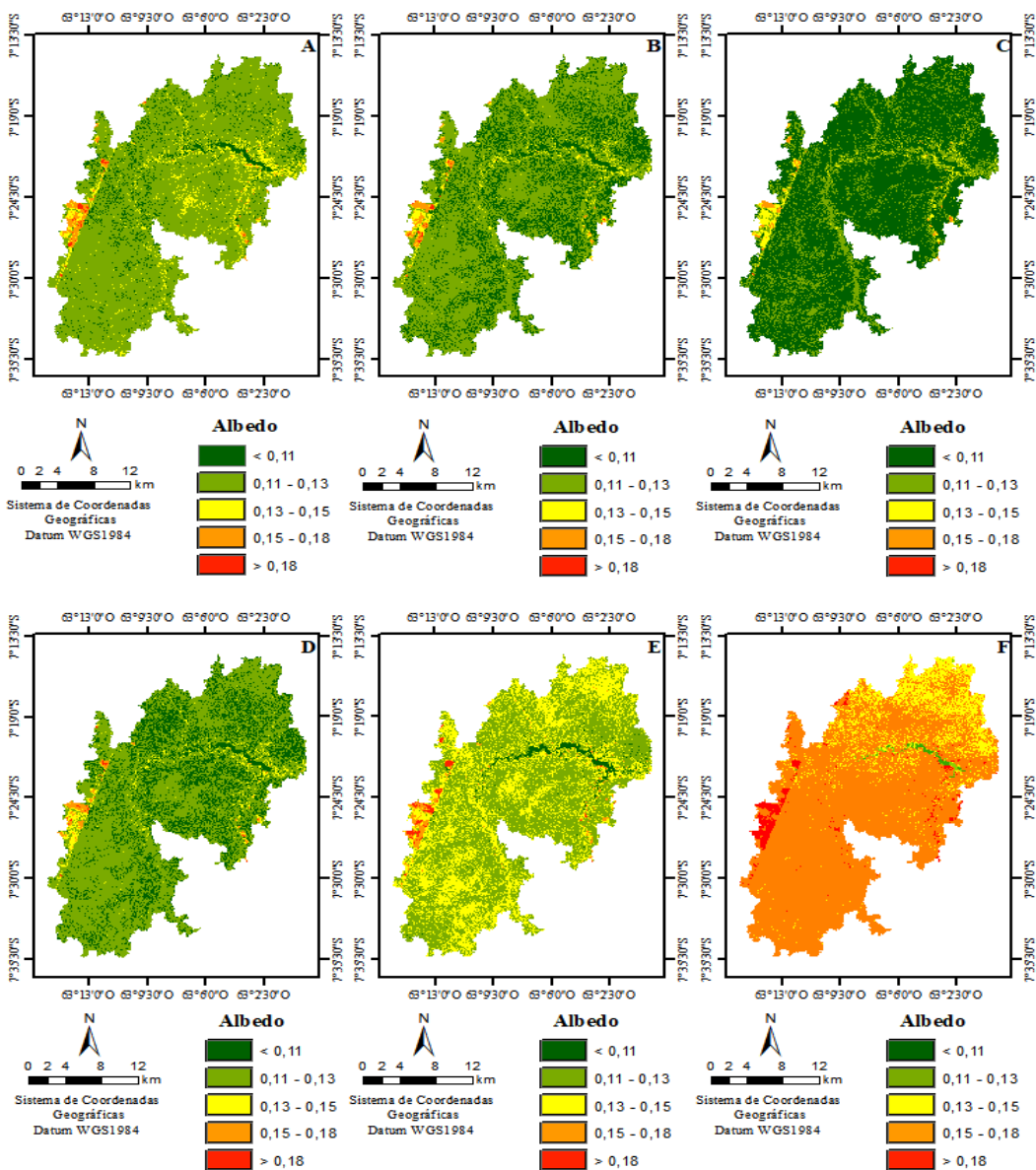


Figura 6. Distribuição espacial do albedo, para os anos de 2006 (A), 2008 (B), 2010 (C), 2011(D), 2015(E) e 2017 (F), na bacia do Rio Puruzinho.

Os resultados das análises estatísticas da temperatura da superfície, entre os anos de 2006 e 2017 são apresentados (tabela 9), com maior média para o valor de 29,54° C no ano de 2015 e a menor média encontrada, o valor de 21,75 °C, para a imagem do ano de 2008. Para os valores de máximo para a temperatura da superfície, o maior valor registrado foi para a imagem do ano de 2011, com temperatura da superfície de 37,90 °C e o menor valor foi para a imagem do ano de 2008, com temperatura da superfície de 28,16 °C. No que se refere ao valor de mínimo, o maior valor observado foi para a imagem do ano de 2015, com temperatura de 25,20 °C e o menor valor foi para a imagem do ano de 2008, com temperatura da superfície de 16,08 °C. Com relação aos resultados do desvio padrão da temperatura da superfície, o maior desvio padrão ocorreu para a imagem do ano de 2017, com valor de desvio de 3,55, a imagem do ano de 2010, foi a que obteve o menor valor de desvio padrão.

Gomes *et al.* (2017), Observou para temperatura mínima valor de 18°C, máximo de 34°C, média de 24,5° C e desvio padrão de 2,2, valores semelhantes aos encontrados neste trabalho. A temperatura da superfície está relacionado com a característica do ambiente na superfície, áreas antropizadas, desmatadas ou com baixa vegetação ocasionam áreas com temperaturas mais altas, temperaturas de 23,7 °C para áreas desmatadas, 25,1 °C para campos naturais, 28,7 °C para áreas urbanas e 20,8 °C para ares de florestas densas foram observados por Tartari *et al.* (2015).

Estatística	Anos					
	2006	2008	2010	2011	2015	2017
<b>Mínimo:</b>	20,94	16,08	18,25	20,50	25,20	20,34
<b>Máximo:</b>	32,78	28,16	28,9	37,90	34,07	35,16
<b>Média:</b>	26,43	21,75	22,27	25,59	29,54	26,17
<b>Desvio Padrão:</b>	2,56	3,06	2,08	2,88	2,51	3,55

Tabela 9. Estatística descritiva da temperatura da superfície para a bacia do Rio Puruzinho.

A distribuição espacial dos resultados para temperatura da superfície, entre os anos de 2006 e 2017, são apresentadas (figura 7). A representação da disposição ao longo da superfície, foi feita utilizando cores variando do verde ao vermelho, representando cinco intervalos de ocorrência espacial da temperatura da superfície. Para as temperaturas menores que 21 °C, a cor utilizada para ser simbolizada no mapa temático, foi a cor verde escura, entre 21 °C – 23 °C, representada pela cor verde claro, entre o intervalo de 23 °C – 25 °C, a cor amarela, entre as temperaturas de 25 °C -27 °C, a cor alaranjada, para as temperaturas maiores que 27 °C, a cor vermelha foi utilizada para a representação no mapa temático.

A temperatura da superfície, teve para os anos 2008 e 2010, uma predominância de valore entre 21°C e 23° C, e valores menores que 21 ° C, exceto para algumas regiões

que tiveram valores acima disso. Para os anos de 2015 e 2017, há uma predominância da ocorrência da temperatura da superfície da cor alaranjada e amarela, representando as temperaturas com valores entre 23°C e 27°C. Pavão *et al.* (2015), encontrou altos valores para temperatura da superfície, na região de Humaitá-AM, em ambientes de áreas modificadas.

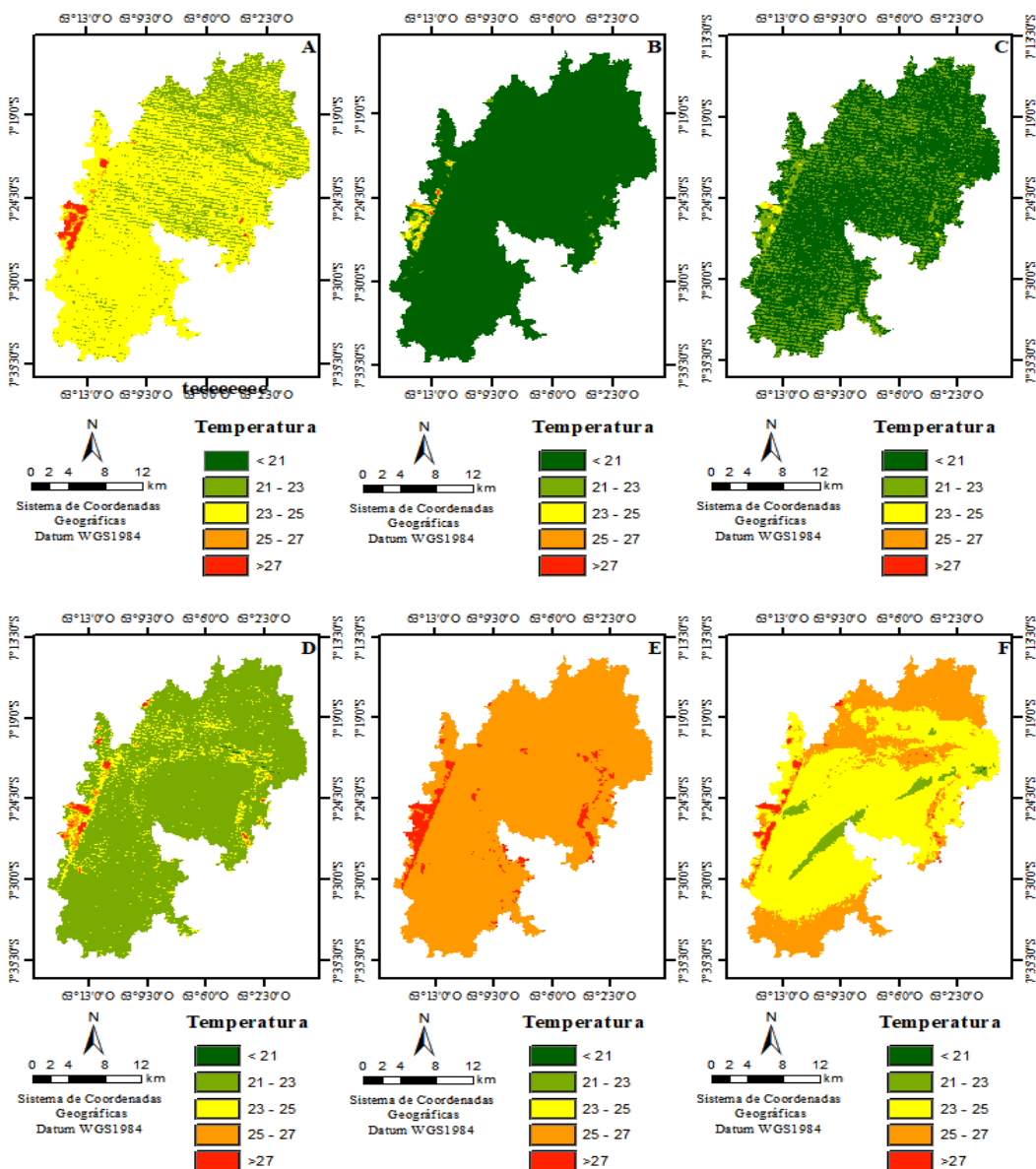


Figura 7. Distribuição espacial da temperatura da superfície para a bacia do Rio Puruzinho.

### 3.3 Dinâmica espaço temporal das variáveis biofísica em uma microbacia do Rio Purus, Amazonas

A representação da distribuição espaço temporal do desvio padrão médio dos anos estudados para o NDVI é apresentada (figura 8). A distribuição do desvio padrão médio foi representada no mapa temático por cores variando entre o verde e o vermelho, divididos em 5 intervalos, onde a cor verde escuro representa os desvios padrão menores que 0,02, entre o desvio 0,02 – 0,04 a cor verde claro, entre 0,04 – 0,06 a cor amarela, entre 0,06 – 0,08 a cor alaranjada e para os desvios padrão maiores que 0,08 a cor vermelha.

Os maiores valores de desvio padrão, representados no mapa pela cor vermelha, mostram onde houve maior alteração dos valores de NDVI ao longo dos anos estudados. Na região central do mapa, há uma grande variação do NDVI, sendo atribuída a variação sazonal da profundidade do lago, situado nessa região. Na parte oeste da bacia, ao longo da Br 319, temos outra região de grande variação do NDVI, área próximas a rodovia são áreas antropizadas ou que em estão em processo de antropização, o que justifica essa grande variação. Segundo Santos *et al.* (2015), o NDVI também é influenciado pela disponibilidade hídrica do ambiente, assim justificando a variação ao longo dos anos.

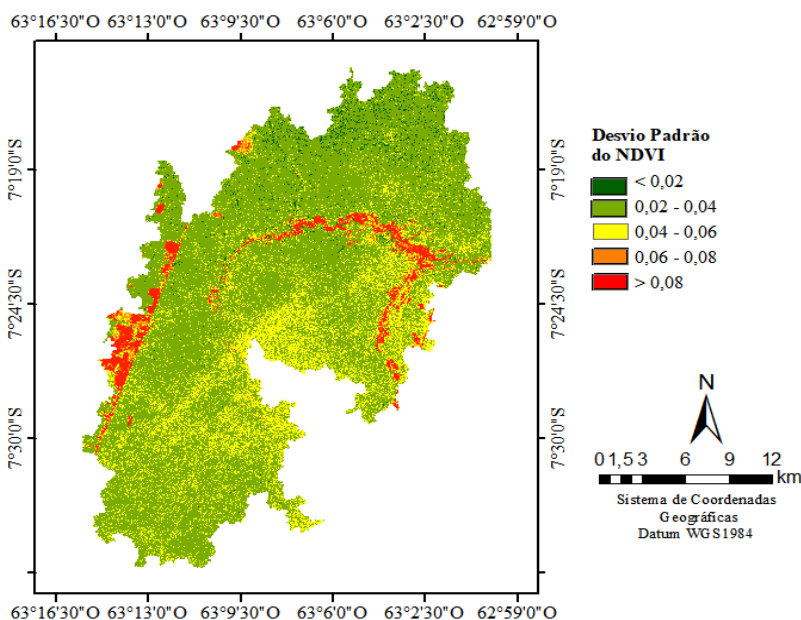


Figura 8. Distribuição espaço temporal do desvio padrão médio para o NDVI, na bacia do rio Puruzinho.

A distribuição espaço temporal do desvio padrão médio dos anos estudados para o SAVI, na bacia do rio Puruzinho é apresentada (figura 9). A representação da distribuição espaço temporal do desvio padrão médio do SAVI foi feita em cinco intervalos, atribuindo cores para a simbolização no mapa temático, onde a cor verde escuro representa os

valores menores que 0,02, entre 0,02 – 0,04 representado pela cor verde claro, entre 0,04 – 0,06 pela cor amarela, entre 0,06 – 0,08 pela cor alaranjada e os valores maiores que 0,08 pela cor vermelha. Os maiores valores de desvio padrão do SAVI são representados pela cor vermelha, demonstrando assim áreas onde é possível identificar áreas que estão mais degradadas, evidenciando a condição de solo exposto.

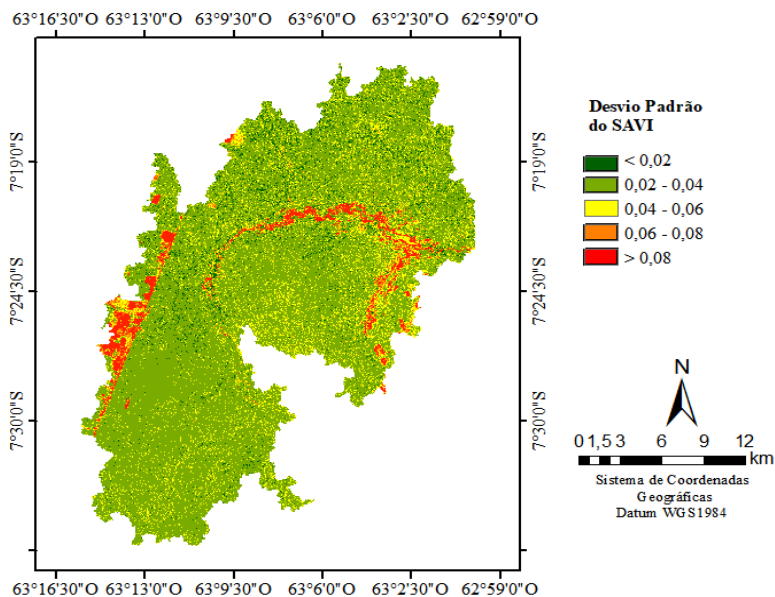


Figura 9. Distribuição espaço temporal do desvio padrão médio para o SAVI, na bacia do rio Puruzinho.

A distribuição espaço temporal do desvio padrão médio dos anos estudados para o IAF, na bacia do rio Puruzinho é apresentada (figura 10). A representação da distribuição espaço temporal do desvio padrão médio do IAF foi feita em cinco intervalos, simbolizados por cores, onde a cor verde escuro representa os valores maiores que 0,2, entre 0,2 – 0,35 pela cor verde claro, entre 0,35 – 0,5 pela cor amarela, entre 0,5 – 0,65 pela cor alaranjada, os valores maiores que 0,65 pela cor vermelha. Com relação ao desvio do IAF, observa-se pelo mapa que não houve grandes alterações, exceto em alguns pontos próximos a rodovia e nas adjacentes dos lagos.

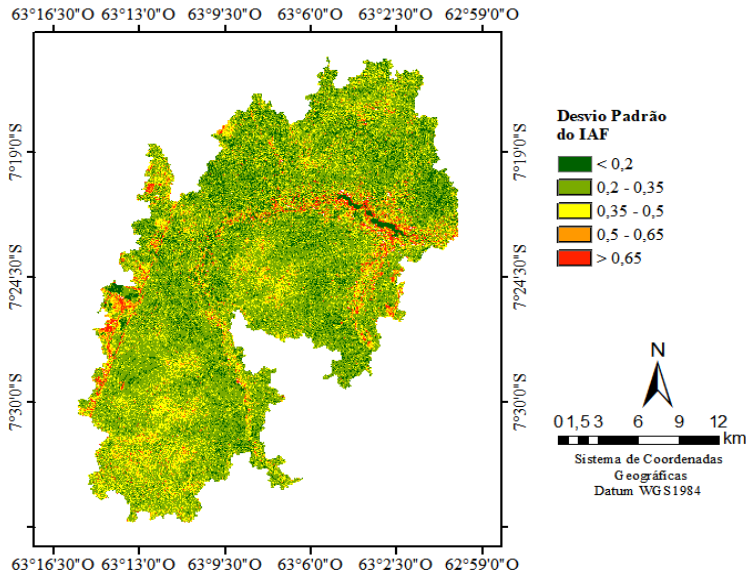


Figura 10. Distribuição espaço temporal do desvio padrão médio para o IAF, na bacia do rio Puruzinho.

A distribuição espaço temporal do desvio padrão médio dos anos estudados para o albedo, na bacia do rio Puruzinho é apresentada (figura 11). A distribuição do desvio padrão médio foi representada no mapa temático atribuindo cores aos intervalos de ocorrência, estes divididos em cinco. A cor verde escuro representa os valores menores que 0,013, entre 0,013 – 0,017 pela cor verde claro, entre 0,017 – 0,021 pela cor amarela, entre 0,021 – 0,025 pela cor alaranjada, os valores maiores que 0,025 são representados pela cor vermelha. As maiores variações de albedo são representadas pela cor vermelha, assim como para os indices biofísicos, o albedo apresentou maiores variações nas mesma regiões que os índices, Pereira *et al.* (2007), dizem que a vegetação densa e sua distribuição, influenciam no albedo.

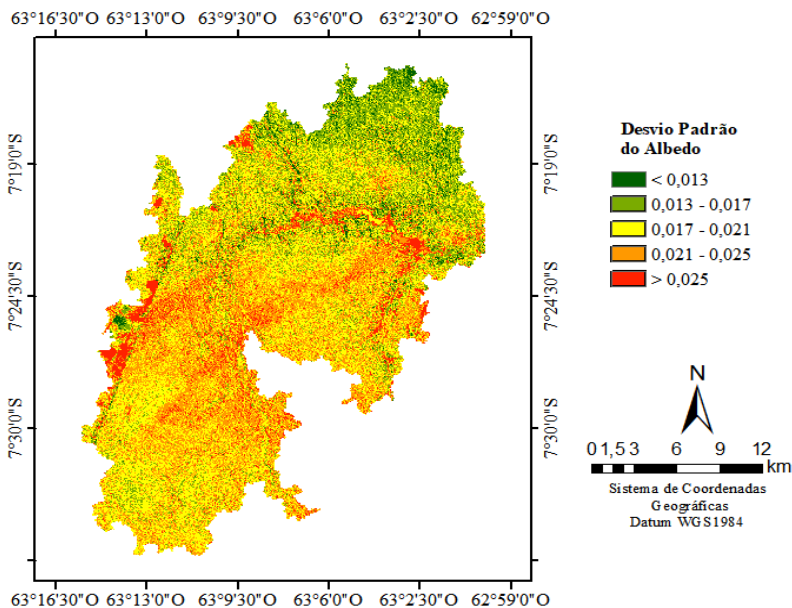


Figura 11. Distribuição espaço temporal do desvio padrão médio para o albedo, na bacia do rio Puruzinho.

A distribuição espaço temporal do desvio padrão médio dos anos estudados para temperatura da superfície, na bacia do rio Puruzinho é apresentada (figura 12). Para a representação da distribuição espaço temporal do desvio padrão médio da temperatura da superfície, os valores foram divididos em cinco intervalos e simbolizados por cores, na qual a cor verde escuro representa os valores maiores que 2,5, entre 2,5 – 2,7 pela cor verde claro, entre 2,7 – 2,9 pela cor amarela, entre 2,9 – 3,1 pela cor alaranjada, os valores maiores que 3,1 pela cor vermelha. Há uma grande variação da temperatura ao longo dos anos estudados, as menores variações são simbolizadas pela cor verde, que ocorrem em minoria no mapa temático. As maiores modificações do desvio padrão da temperatura da superfície são ilustradas no mapa pelas cores alaranjada e vermelha.



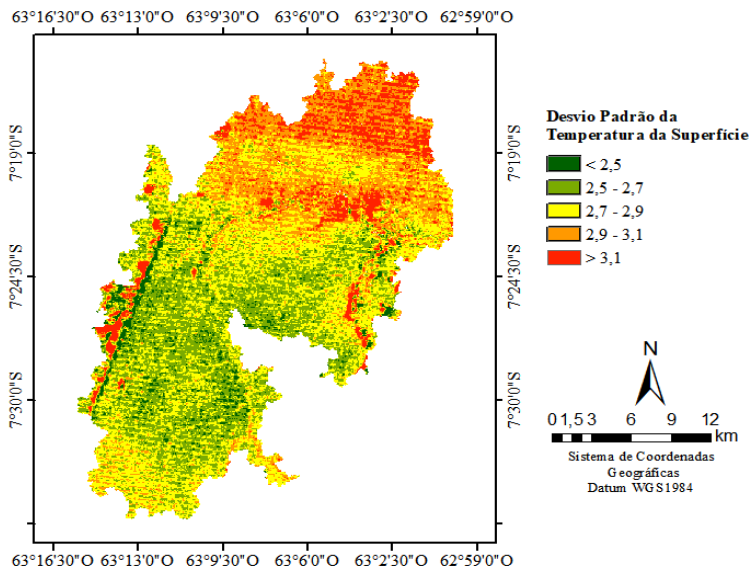


Figura 12. Distribuição espaço temporal do desvio padrão médio para a temperatura da superfície, na bacia do rio Puruzinho.

## 4 | CONCLUSÕES

Os índices biofísicos exibiram padrão inverso entre as áreas de floresta densa e áreas antropizadas. Demonstrando os maiores valores de NDVI para floresta e os menores pra áreas de solo exposto ou vegetação rasteira.

As variações anuais do NDVI, SAVI, podem ter sido influenciadas pelas variação climática anual, tendo em vista que a forte influência dos fatores climáticos na ocorrência dos mesmos.

O albedo e a temperatura foram maiores e apresentaram maiores variações em áreas sem ou com pouca vegetação, onde houve retirada da vegetação primária.

A utilização dos índices biofísicos, combinados com técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, mostraram- se ferramenta imprescindível no monitoramento e detecção de áreas com transformações ambientais com uso de imagens de satélite para extensas áreas.

## REFERÊNCIAS

ACCIOLY, L. J., PACHECO, A., COSTA, T. C. C., LOPES, O. F., OLIVEIRA, M. A. J. Relações empíricas entre a estrutura da vegetação e dados do sensor TM/Landsat. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 6, n. 3, p. 492-498. Campina Grande, PB, DEAg/UFCG, 2002.

ALLEN, R. G., TASUMI, M. and TREZZA, R. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) Advanced Training and Users Manual – Idaho Implementation, version 1.0, 97 p., 2002.

- ALMEIDA, C. A. Estimativa da área e do tempo de permanência da vegetação secundária na Amazônia legal por meio de imagens LANDSAT/TM. 2008. 129 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.
- ALVES FAUSTO, M., PERES ANGELINI, L., OLIVEIRA MARQUES, H., SILVA FILHO, A., GOMES MACHADO, N., & SACARDI BIUDES, M. Impacto da alteração do uso do solo no saldo de radiação no Cerrado do sul de Mato Grosso. *Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 11, n. 2, 2016.
- BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL – based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, v. 229, p. 87-100, 2000.
- BECERRA, J. A. B.; SHIMABUKURO, Y. E.; ALVALÁ, R. C. S. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região de cerrado da Amazônia legal, usando índices espectrais de vegetação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.24, n.2, 125-134, 2009.
- BEZERRA, M. V. C.; SILVA, B. B. DA; BEZERRA, B. B. Avaliação dos efeitos atmosféricos no albedo e NDVI obtidos com imagens de satélite. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.709-717, 2011.
- BOEGH, E., SOEGAARD, H., THOMSEN, A. Evaluating evapotranspiration rates and surface conditions using Landsat TM to estimate atmospheric resistance and surface resistance. *Remote Sensing of Environment* 79:329-343, 2002.
- BOSCH, J.M.; HEWLETT, J.D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, v. 55, p. 3-23, 1982.
- BROWN, A.E.; ZHANG, L.; MCMAHON, T.A.; WESTERN, A.W.; VERTESSY, R.A. A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. *Journal of Hydrology*, v. 310, p. 28-61, 2005
- CARDILLE, J. A.; FOLEY, J. A. Agricultural land-use change in Brazilian Amazon between 1980 and 1995: evidence from integrated satellite and census data. *Remote Sensing of Environment*, v. 87, n. 4, p. 551 -562, 2003.
- CARREIRAS, J. M. B.; PEREIRA, J. M. C. SPOT-4 VEGETATION multi-temporal compositing for land cover change studies over tropical regions. *International Journal of Remote Sensing*, v. 26, n.7, p. 1323-1346, 2005.
- CARREIRAS, J. M. B.; PEREIRA, J. M. C.; CAMPAGNOLO, M. L.; SHIMABUKURO, Y. E. Assessing the extent of agriculture/pasture and secondary succession forest in the Brazilian Legal Amazon using SPOT VEGETATION data. *Remote Sensing of Environment*, v. 101, n. 3, p. 283-298, 2006.
- CHANDER, G. MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v, 41, n. 11, 2003.
- CUNHA, J.E. de B.L.; RUFINO, I.A.A.; SILVA, B.B. da; CHAVES, I. de B. Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, p.539-548, 2012.
- FARR, T. G.; ROSEN, P. A.; CARO, E.; CRIPPEN, R.; DUREN, R.; HENSLEY, S. et al., The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics*, v. 45, p. RG2004, 2007.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazônica*, v. 36, n.3, 2006.

FONTANA, D. C. Índice de Vegetação como indicador de respostas das plantas às condições meteorológicas. In: *Anais do XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, Aracajú, 2007.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H. Relação entre o Índice de Vegetação global e Condições Hídricas no Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 33, n. 8, 1399-1405, 1998.

GIONGO, P. R.; MOURA, G. B. DE A.; SILVA, B. B. DA; ROCHA, H. R. DA; MEDEIROS, S. R. R. DE; NAZARENO, A. C. Albedo à superfície a partir de imagens Landsat 5 em áreas de cana-de-açúcar e cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.279-287, 2010.

GOMES, H. B., CAVALCANTE, L. B., SILVA JUNIOR, R. S. D., & SANTOS, M. N. D. TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE E ALBEDO NA REGIÃO DE ILHA SOLTEIRA, SÃO PAULO. *Mercator (Fortaleza)*, v. 16, 2017.

GONG, D., SHI, P. Northern hemispheric NDVI variations associated with large-scale climate indices in spring. *International Journal of Remote Sensing*, v. 24, n. 12, 2003. p. 2559-2566.

GURGEL, H.C.; FERREIRA, N. J.; LUIZ, A. J. B. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil utilizando-se a análise de agrupamentos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.1, p.85-90, 2003.

HUETE, A. R. Adjusting Vegetation Indices for Soil Influences. *International Agrophysics*. 4(4): 367-376, 1988.

HUETE, A. R. and WARRICK, A. W., 1990. Assessment of Vegetation and Soil Water Regimes in Partial Canopies with Optical Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment*. 32: 155-167, 1990.

IQBAL. M. An Introduction to Solar Radiation. Library of Congress Cataloging in Publication data, Academic Press Canadian. 1983.

JACÓBSEN, L.O.; FONTANA, D.C.; SHIMABUKURO, Y.E. Efeitos associados a El Niño e La Niña na vegetação do Estado do Rio Grande do Sul observados através do NDVI/NOAA. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.19, n.2, p.129-140, 2004.

JIN, S.; SADER, S. A. MODIS time-series imagery for forest disturbance detection and quantification of patch size effects. *Remote Sensing of Environment*, v. 99, n. 4, p. 462-470, 2005.

KINTISCH E. (2007) Improved Monitoring of Rainforests Helps Pierce Haze of deforestation. *Science*, 316, 536-537.

LEITE, A. P., SANTOS, G. R., & SANTOS, J. É. O. Análise temporal dos índices de vegetação NDVI e SAVI na Estação Experimental de Itatinga utilizando imagens Landsat 8. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 6, n. 4, 2017.

LILLESAND, T., R.W. Kieffer, and J. Chipman. 2007. *Remote Sensing and Image Interpretation*. 6th ed., John Wiley and Sons, New York, US

LIU, W.T.H. Aplicação de Sensoriamento Remoto. 1 ed. Campo Grande. Uniderp, 2007. p. 621-839.

LOPES, H. L.; CANDEIAS, A. L. B.; ACCIOLY, L. J. O.; SOBRAL, M. DO C. M.; PACHECO, A. P. Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças na cobertura e uso do solo em bacias hidrográficas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, p.1210-1219, 2010.

LOPES, P., & VALERIANO, D. Validação do albedo da superfície terrestre obtido dos dados do sensor MODIS em regiões montanhosas. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, Brasil, Anais. p. 2805-2812, 2007.

MARKHAM, B. L. and BARKER, L. L. Thematic mapper bandpass solar exo atmospherical irradiances, Int. Journal of Remote Sensing, v. 8, n. 3 p. 517-523, 1987.

MATALLO JÚNIOR, H. Indicadores de desertificação: histórico e perspectiva. Brasília: UNESCO, 2001.

MORAES, E.C. Fundamentos de sensoriamento remoto. Instituto nacional de pesquisas espaciais-INPE, 2002.

OBT. Coordenação-Geral de Observação da Terra. Projeto PRODES - Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite, 2017. < <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>> Acesso em 19 maio 2017.

OLIVEIRA, L. M. M. DE; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; SILVA, B. B. DA; MACHADO, C. C. C.; GALVINCIO, J. D. Análise quantitativa de parâmetros biofísicos de bacia hidrográfica obtidos por sensoriamento remoto. Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.47, p.1209-1217, 2012.

P. J. SELLERS. Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. International Journal of Remote Sensing 1985, vol. 6, no.8, 1335-1372

PAIVA, C. M., DA SILVA GONÇALVES DE JESUS, A., BORGES FRANÇA, G., & TEMPONI OLIVEIRA, L. M. Análise dos Efeitos do Déficit Hídrico na Resposta Temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) no Estado do Amazonas. Ciência e Natura, v. 38, n. 2, 2016.

PAVÃO, V. M., QUERINO, C., BENEDITTI, C., PAVÃO, L. L., QUERINO, J., MACHADO, N. G., & BIUDES, M. S. Temperatura e albedo da superfície por imagens TM Landsat 5 em diferentes usos do solo no sudoeste da Amazônia brasileira. Revista Brasileira de Climatologia, v. 16, p. 169-183, 2015.

PEREIRA, G., MORAES, E. C., ARAI, E., & DE OLIVEIRA, L. G. L. Estudo preliminar da estimativa da reflectância e albedo de microssistemas pantaneiros a partir de imagens de satélite. Revista Brasileira de Cartografia, v. 59, n. 1, 2007.

QUERINO, C. A. S., MOURA, M. A. L., LYRA, R. D. F., & MARIANO, G. L. Avaliação e comparação de radiação solar global e albedo com ângulo zenital na região Amazônica. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 21, n. 3a, p. 42-49, 2006.

RISSO, J.; RIZZI, R.; EPIPHANIO, R. D. V.; RUDORFF, B. F. T.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y.; FERNANDES, S. L. Potencialidade dos índices de vegetação EVI e NDVI dos produtos MODIS na separabilidade espectral de áreas de soja. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal, RN.

- ROUSE, J.W.;HAAS, R.H.;SCHELL,J.A.;DEERING,D.W.,1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third Symposium of ERTS, Greenbelt, Maryland, USA. NASA SP-351, V1:309-317.
- SAHIN, V.; HALL, M.J. The effects of afforestation and deforestation on water yields. *Journal of Hydrology*, v. 178, p. 293-309, 1996.
- SANTOS, J. E. O., NICOLETE, D. A. P., FILGUEIRAS, R., LEDA, V. C., & ZIMBACK, C. R. L. Imagens do Landsat-8 no mapeamento de superfícies em área irrigada. *IRRIGA*, v. 1, n. 2, p. 30, 2018.
- SILVA, B. B., LOPES, G. M., & DE AZEVEDO, P. V. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5-TM. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 20, n. 2, p. 243-252, 2005.
- SILVA, J. S., DA SILVA, R. M., & SILVA, A. M. Mudanças do Uso e Ocupação do Solo e Degradação Eco-Ambiental Usando Imagens Orbitais: O Estudo de Caso da Bacia do Rio Bacanga, São Luís (MA) (Land Use/Cover Change and Environmental Degradation Based on Orbital Images: A Case Study of Bacanga River). *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 9, n. 1, p. 265-279, 2016.
- SOUZA FILHO, P. W. M.; PARADELLA, W. R.; SOUZA JR., C.; VALERIANO, D. M.; MIRANDA, F. P. Sensoriamento Remoto e Recursos Naturais da Amazônia. *Revista Ciência e Cultura*, v. 58, n. 3, 2006.
- TARTARI, R., GOMES MACHADO, N., RODRIGUES DOS ANJOS, M., DA CUNHA, J. M., RALF DE MUSIS, C., DE SOUZA NOGUEIRA, J., & SACARDI BIUDES, M. Análise de índices biofísicos a partir de imagens TM Landsat 5 em paisagem heterogênea no Sudoeste da Amazônia. *Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 10, n. 4, 2015.
- TEIXEIRA, A. H. DE C.; BASTIAANSEN, W. G. M. AHMAD, M. D.; BOS, M. G. REVIEWING SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low/Middle São Francisco River basin, Brazil Part B: Application to the large scale. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.149, p.477-490, 2009.
- USGS. United States Geological Service. Provisional Landsat 8 surface reflectances product. 2017. Disponível em:<<https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf>>. Acesso em 19 maio 2017.
- WAGNER, A. P. L. Dinâmica Temporal de Índices de Vegetação no Pampa do Rio Grande do Sul e Uruguai e suas Relações com os Elementos Meteorológicos Regionais. 2013. 160f.. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Porto Alegre, 2013.
- WANG, J.; RICH, P. M.; PRICE, K. P. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA. *International Journal of Remote Sensing*, v. 24, n. 11, p. 2345–2364, 2003.
- WATSON, D.J. Comparative physiological studies on growth of fields crops. I – Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany*, London, v.11,p.41-76, 1947.
- YUAN, F.; ROY, S. S., Analysis of the Relationship Between NDVI and Climate Variables in Minnesota Using Geographically Weighted Regression and Spatial Interpolation. ASPRS 2007 Annual Conference. Tampa, Florida. 2007.

# SOLO, ÁGUA, PLANTA E VARIÁVEIS AMBIENTAIS:

---





Impactos e suas transformações  
no Sul do Amazonas

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

# SOLO, ÁGUA, PLANTA E VARIÁVEIS AMBIENTAIS:

---

Impactos e suas transformações  
no Sul do Amazonas

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