



# Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto 2

Leonardo Tullio  
(Organizador)

 **Atena**  
Editora

Ano 2018

**LEONARDO TULLIO**

(Organizador)

**Aplicações e Princípios do  
Sensoriamento Remoto  
2**

Atena Editora  
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação e Edição de Arte:** Geraldo Alves e Natália Sandrini

**Revisão:** Os autores

#### Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

A642 Aplicações e princípios do sensoriamento remoto 2 [recurso eletrônico] / Organizador Leonardo Tullio. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. – (Aplicações e Princípios do sensoriamento remoto; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-85107-48-2

DOI 10.22533/at.ed.482180110

1. Sensoriamento remoto. I. Tullio, Leonardo.

CDD 621.3678

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo do livro e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

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.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

No Volume II da obra “Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto” trazemos até você os mais diversos trabalhos da área, contando agora com 22 capítulos inéditos. Vimos a importância deste tema no Volume I e agora esperamos contribuir significativamente com outras aplicações em diversas áreas de atuação.

Percebemos que os avanços tecnológicos substituem algumas formas de agir e pensar, de maneira instantânea e a níveis de confiança altíssimos. Assim a contribuição e os avanços nas pesquisas são favorecidos com o uso de softwares aplicados ao Sensoriamento Remoto. Visto a necessidade de programas computacionais específicos para análise conjunta de dados sobre a imagem e de maneira rápida, percebemos a significativa atuação da tecnologia neste meio.

Neste sentido, ressaltamos a importância do conhecimento específico e aplicado, pois a tecnologia analisa a partir de comandos, porém, a análise e a definição do certo ou errado ainda está na dependência do operador, que exige conhecimento em sua realização. Aplicações práticas e com resultados significativos são fundamentais para o sucesso de uma pesquisa, a classificação seja ela supervisionada ou não, garante a interpretação fiel da realidade estudada. Porém, refinar as técnicas de análise e comparar os resultados são importantes.

Contudo, ressaltamos a necessidade do conhecimento avançado sobre o que se propõe a estudar e qual método mais adequado, pois a interação dos dois reflete a confiança e qualidade do resultado. Portanto, a busca por conhecimento é insaciável e nos faz aprender a cada capítulo desta obra.

Por fim, desejo bons estudos e muito conhecimento adquirido com as informações e resultados trazidos nos capítulos desta obra.

Leonardo Tullio

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ANÁLISE DA PAISAGEM ATRAVÉS DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA UM ESTUDO DE CASO DA CIDADE DE SERRA DO NAVIO-AP	
<i>Érica Patrícia Viegas dos Santos</i>	
<i>Dário Rodrigues de Melo Junior</i>	
<i>Olavo Rodrigues Fagundes Neto</i>	
<i>Tasso Wesley Galeno Barreto</i>	
<i>Patrícia Helena Turola Takamatsu</i>	
<i>Fabiano Luís Belém</i>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>14</b>
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESPAÇO-TEMPORAL DAS GEOFORMAS FLUVIAIS DO BAIXO CURSO DO RIO DOCE COM O AUXÍLIO DE IMAGENS ORBITAIS LANDSAT 8 - LINHARES, ES	
<i>Andressa Padovani Gil</i>	
<i>André Luiz Nascentes Coelho</i>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>25</b>
ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA OCUPAÇÃO DA ÁREA E ENTORNO DO PARQUE MUNICIPAL DUNAS DE ABRANTES, CAMAÇARI - BAHIA	
<i>Luiz Felipe Moura Bastos Borges</i>	
<i>Desiree Alves Celestino Santos</i>	
<i>Fábia Antunes Zaloti</i>	
<i>Saulo Medrado dos Santos</i>	
<i>Dária Maria Cardoso Nascimento</i>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>36</b>
ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA DO RIO SÃO JOÃO, MG: UMA PROPOSTA PARA MELHOR ENTENDIMENTO DOS LIMITES E DA DINÂMICA ESPACIAL DAS SUPERFÍCIES EROSIVAS	
<i>Samia de Moura Passarella</i>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>54</b>
ASSIMILAÇÃO DE DADOS COM O MÉTODO LETKF NO OCEANO ATLÂNTICO SUDOESTE: A IMPORTÂNCIA DAS OBSERVAÇÕES DE SATÉLITE	
<i>Leonardo Nascimento Lima</i>	
<i>Luciano Ponzí Pezzi</i>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>69</b>
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DA ESPÉCIE WUNDERLICHIA AZULENZIS	
<i>Alline Zagnoli Villela Motta</i>	
<i>Sollano Rabelo Braga</i>	
<i>Alessandra Morais Melo</i>	
<i>Nathalia Drummond Marques da Silva</i>	
<i>Cristiano Christofaro</i>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>80</b>
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE SEQUESTRO DE CARBONO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRAJIBU-MIRIM EM SOROCABA (SP)	
<i>Darllan Collins da Cunha e Silva</i>	
<i>Deborah de Matos</i>	
<i>Renan Angrizani de Oliveira</i>	
<i>Vanessa Cezar Simonetti</i>	
<i>Roberto Wagner Lourenço</i>	

**CAPÍTULO 8 ..... 94**

CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO APLICADO À GCP'S EM MAPEAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO COM USO DE VANT

*José Adriano da Silva*  
*Vinicius Bitencourt Campos Calou*  
*Adunias dos Santos Teixeira*  
*Daniel Albiero*

**CAPÍTULO 9 ..... 105**

CORRELAÇÃO ESPACIAL DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO (NDVI, NDWI E EVI) DE IMAGEM LANDSAT-8 COM ATRIBUTOS DO SOLO

*Barbara de Oliveira Sousa Castro*  
*Anderson Antonio da Conceição Sartori*  
*Flávia Luize Pereira de Souza*  
*Letícia Albano Benites*

**CAPÍTULO 10 ..... 117**

DESENVOLVIMENTO DE UM VANT DO TIPO QUADROTOR TOTALMENTE AUTÔNOMO DE ALTA PRECISÃO PARA SENSORIAMENTO REMOTO DE ÁREAS DE VEGETAÇÃO POR CÂMERA MULTIESPECTRAL GEORREFERENCIADA

*Thiago Vieira Nogueira Coelho*  
*Lucas Moraes*  
*Rafael Falcí Campos*  
*Luis Carlos Carmo Jr.*  
*Daniel Discini Silveira*  
*André Luis Marques Marcato*  
*Alexandre Bessa dos Santos*

**CAPÍTULO 11 ..... 134**

ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE ALVOS PRÉ-SINALIZADOS PARA APOIAR LEVANTAMENTOS AEROFOTOGRAMÉTRICOS REALIZADOS COM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)

*Glauber Carvalho Costa*  
*Igor de Carvalho Almeida*  
*Rafael Claudino da Silva*  
*Rafael Bazílio Viana*

**CAPÍTULO 12 ..... 144**

ESTUDO SOBRE O EMPREGO DE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO E ELEVAÇÃO, GERADOS DE LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO CONVENCIONAL, PERFILAMENTO A LASER AÉREO, SRTM, TOPODATA, ASTER GDEM V2 E WORLDDEM, COM ÊNFASE EM PROJETOS VIÁRIOS

*Glauber Carvalho Costa*  
*Igor de Carvalho Almeida*  
*Rafael Claudino da Silva*  
*Rubens José Souza Galvão*  
*Rafael Bazílio Viana*

**CAPÍTULO 13 ..... 155**

FRONTEIRA AGRÍCOLA E A ESTRUTURA DA PAISAGEM NA SUB-BACIA DO RIO RIACHÃO – OESTE DA BAHIA

*Crisliane Aparecida Pereira dos Santos*  
*Edson Eyji Sano*  
*Pablo Santana Santos*

**CAPÍTULO 14 ..... 165**

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À OCUPAÇÃO IRREGULAR POR MEIO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO NO BAIRRO DE GRAMAME, EM JOÃO PESSOA – PB

*Erickson Melo de Albuquerque*  
*Cícero Fidelis da Silva Neto*  
*Marcos Leonardo Ferreira dos Santos*

**CAPÍTULO 15..... 175**

ÍNDICES TEXTURAIS DAS ÁREAS DE EXPLORAÇÃO FLORESTAL NA FLONA DO TAPAJÓS (PARÁ), UTILIZANDO IMAGENS DE MÉDIA RESOLUÇÃO ESPACIAL FUSIONADAS.

*Marília Gabriela Lopes da Silva*  
*Tássio Franco Cordeiro*  
*Rodrigo Rafael Sousa de Oliveira*  
*Igor da Silva Narvaes*  
*Alessandra Rodrigues Gomes*  
*Marcos Adami*  
*Lucas José Mazzei de Freitas*  
*Dalton de Morisson Valeriano*

**CAPÍTULO 16..... 190**

INTEGRAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS PARA APOIAR RESPOSTAS A EVENTOS HIDROLÓGICOS CRÍTICOS: A EXPERIÊNCIA DA UNIDADE ESTADUAL DE MONITORAMENTO HIDROMETEOROLÓGICO DURANTE AS INUNDAÇÕES DE 2015 NA BACIA DO RIO ACRE – ACRE/BRASIL

*Alan dos Santos Pimentel*  
*Vera Lúcia Reis*  
*Ylza Marluce Silva de Lima*  
*Luiz Alves dos Santos Neto*  
*Diana de Souza Bezerra*  
*Tatiane Mendonça de Lima*  
*Irving Foster Brown*

**CAPÍTULO 17 ..... 201**

INDICAÇÃO ESTATÍSTICA DE ÁREAS DE GARIMPO DE AMETISTA COM O USO DE IMAGENS ASTER

*Jean Marcel de Almeida Espinoza*  
*Deivid Cristian Leal Alves*  
*Silvia Beatriz Alves Rolim*  
*Jefferson Rodrigues dos Santos*  
*Maurício Soares Ortiz*  
*Miguel da Guia Albuquerque*

**CAPÍTULO 18..... 213**

MAPEAMENTO DAS ÁREAS OCUPADAS COM PASTAGENS NO TRIÂNGULO MINEIRO-MG

*Jorge Luís Silva Brito*  
*Roberto Rosa*  
*Mirna Karla Amorim da Silva*

**CAPÍTULO 19..... 222**

MÉTRICAS DE PAISAGEM NA CARACTERIZAÇÃO DOS FRAGMENTOS FLORESTAIS POR MEIO DA FUSÃO DA IMAGEM CBERS 4

*Caroline Bessi Fávero*  
*Anderson Antonio da Conceição Sartori*  
*Sidnei Fonseca Guerreiro*  
*Victor Munhoz Ruiz*  
*Rosane Maria Kaspary*  
*Martha Santana Martins*

**CAPÍTULO 20..... 240**

MODELAGEM DINÂMICA ESPACIAL DAS MUDANÇAS DE COBERTURA DA TERRA NA REGIÃO SUL DO ESTADO DE RORAIMA, NORTE DA AMAZÔNIA

*Maristela Ramalho Xaud*  
*Cláudia Maria de Almeida*  
*Haron Abraham Magalhães Xaud*

**CAPÍTULO 21..... 254**

SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS DE PERDA DE SOLO POR EROÇÃO LAMINAR NA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA.

*Gabriella Santos Arruda de Lima*

*Nilson Clementino Ferreira*

**CAPÍTULO 22..... 265**

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO MODELO SWAT PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL PARA A REGIÃO DE PETROLINA, ESTADO DE PERNAMBUCO

*Teônia Casado da Silva*

*Madson Tavares Silva*

*Danielle Teixeira Alves da Silva*

*Edivaldo Afonso de Oliveira Serrão*

*Eduardo da Silva Margalho*

**SOBRE O ORGANIZADOR .....274**

## AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE SEQUESTRO DE CARBONO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRAJIBU-MIRIM EM SOROCABA (SP)

### **Darllan Collins da Cunha e Silva**

Universidade de Sorocaba, Departamento de Engenharia Ambiental, Sorocaba - SP

### **Deborah de Matos**

Universidade de Sorocaba, Departamento de Engenharia Ambiental, Sorocaba - SP

### **Renan Angrizani de Oliveira**

Universidade de Sorocaba, Departamento de Engenharia Ambiental, Sorocaba - SP

### **Vanessa Cezar Simonetti**

Universidade de Sorocaba, Departamento de Engenharia Ambiental, Sorocaba – SP

### **Roberto Wagner Lourenço**

Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, Departamento de Engenharia Ambiental, Sorocaba – SP

**RESUMO:** As interferências antrópicas provocadas no ambiente têm alterado significativamente a concentração do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) na atmosfera, aumentando a temperatura global do planeta por ser um gás de efeito estufa. Também é um importante elemento para a realização da fotossíntese, onde a planta utiliza o  $\text{CO}_2$  na síntese de carboidratos, e uma parte desse carbono fixado retorna à atmosfera pela decomposição da matéria orgânica, favorecendo o fluxo do carbono. Nesse sentido, o presente estudo objetivou estimar o potencial de estoque de carbono na Bacia Hidrográfica do Rio Pirajibu-Mirim, localizada no município

de Sorocaba-SP. A metodologia empregada foi por meio do processamento digital de imagens orbitais do Landsat-8, que foram utilizadas para a geração dos índices espectrais: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Reflectância Fotoquímica (PRI) que possibilitaram gerar o índice espectral  $\text{CO}_2$  Flux e, portanto, mensurar o fluxo de carbono na bacia hidrográfica. Os resultados obtidos revelaram que a bacia possui um índice de  $\text{CO}_2$  variando entre -0,10 e 0,31, sendo que, quanto maior o valor de  $\text{CO}_2$  Flux presente, mais desenvolvida é a vegetação. Foi possível inferir que a bacia hidrográfica apresenta um fluxo de  $\text{CO}_2$  baixo quando comparado ao máximo da escala de valores possíveis, indicando a necessidade da ampliação da cobertura vegetal. Portanto, a utilização de índices espectrais como os utilizados neste estudo possibilita aos gestores públicos planejar o parcelamento do solo e propor medidas normativas que visem garantir o desenvolvimento sustentável frente ao crescimento urbano e econômico.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fluxo de Carbono, Análise Espacial, Sensoriamento Remoto, Bacia hidrográfica.

**ABSTRACT:** Anthropogenic interferences in the environment have altered significantly the concentration of carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) in the atmosphere, increasing the global temperature

of the planet because it is considered a greenhouse gas. It is Also, the  $\text{CO}_2$  is an important element for the realization of photosynthesis, where the plant uses  $\text{CO}_2$  in the synthesis of carbohydrates, and a part of this fixed carbon returns to the atmosphere by the decomposition of the organic matter, favoring the carbon flux. In this sense, the present study aimed to estimate the potential of carbon stock in the Pirajibu-Mirim River Watershed, located in the city of Sorocaba-SP. The methodology used was the digital processing of Landsat-8 orbital images, which were used to generate the spectral indexes: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Photochemical Reflectance (PRI) that made it possible to generate the spectral index  $\text{CO}_2$  Flux and therefore measure the carbon flux in the watershed. The results showed that the watershed has a  $\text{CO}_2$  index ranging from -0.10 to 0.31, and the higher the  $\text{CO}_2$  Flux value present, more developed is the vegetation. It was possible to infer that the watershed presents a low  $\text{CO}_2$  flow when compared to the maximum of the possible values scale, indicating the necessity of the expansion of the vegetal cover. Therefore, the use of spectral indices such as those used in this study allows public managers to plan the land parceling and propose normative measures that aim to guarantee sustainable development in face of urban and economic growth.

**KEYWORDS:** Carbon flow, Spatial Analysis, Remote Sensing, Watershed.

## 1 | INTRODUÇÃO

O efeito estufa é um processo físico que ocorre quando uma parte da radiação infravermelha é emitida pela superfície terrestre e absorvida por gases presentes na atmosfera, que estabilizam a temperatura média do planeta em  $15^\circ\text{C}$ , caso não houvesse esse processo a temperatura poderia cair em média  $32^\circ\text{C}$ , chegando a  $18^\circ\text{C}$  negativos, de forma que a vida no planeta não seria possível (CARVALHO et al., 2010; NOBRE; SAMPAIO; SALAZAR, 2007).

Esses gases possuem importantes papéis nas trocas energéticas na atmosfera, sendo que os principais deles são o vapor d'água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), ozônio ( $\text{O}_3$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{NO}_2$ ), também denominados de gases do efeito estufa (GEE) (COTTA; COLTRI, 2009; ROBERTSON; PAUL; HARWOOD, 2000).

No entanto, o vapor d'água se sobressai por suas características físicas e radiativas, sendo sua molécula capaz de absorver radiação, principalmente na faixa do espectro eletromagnético referente ao infravermelho, com  $51 \text{ W.m}^{-2}$ , enquanto o  $\text{CO}_2$  absorve  $24 \text{ W.m}^{-2}$  e os demais gases juntos uma proporção de  $11 \text{ W.m}^{-2}$  (BARBOSA, 2014; DIAS, 2006; NOBRE; REID; VEIGA, 2012).

A dinâmica desse fenômeno vem sendo alterada ao longo dos anos devido à grande influência antrópica, isso pode ser constatado através dos estudos sobre o aumento no aquecimento e concentração de  $\text{CO}_2$  desde a Revolução Industrial, que passou de 280 ppm na era industrial para 400 ppm em 2015, que pode ter influenciado em um aumento de  $1,1^\circ\text{C}$  na temperatura média do planeta registrado em 2016 (IPCC,

2007; TONIOLO; CARNEIRO, 2010; WMO, 2017).

O dióxido de carbono além de fazer parte do efeito estufa, é um importante elemento para a realização da fotossíntese, em que, o CO<sub>2</sub> é absorvido pelas plantas e liberado O<sub>2</sub> para a atmosfera. Neste processo, a planta utiliza o dióxido de carbono para a síntese de carboidratos e parte do carbono fixado é devolvida a atmosfera pela decomposição de matéria orgânica morta e outra parte utilizada para a biomassa dos seres vivos, denominado assim também como fluxo do carbono (BARRETO; FREITAS; PAIVA, 2009; BENJAMÍN; MASERA, 2001).

No entanto, o processo de fixação e liberação vem sofrendo interferências diretas devido às mudanças no uso do solo e desmatamento que são consideradas a segunda maior fonte de emissão do CO<sub>2</sub> no mundo, estando apenas atrás das atividades que promovem a queima de combustível fóssil (PACHAURI et al., 2014; MATA et al., 2015).

No Brasil a mudança de uso da terra é considerada a principal fonte de emissão de carbono para a atmosfera, no total o país emitiu entre os anos de 1990 e 2014 o valor de 56 bilhões de toneladas de dióxido de carbono, sendo que dois terços desse valor são devido à mudança de uso do solo, tanto para a transição em agricultura e pecuária, como para a urbanização (CERRI; CERRI, 2007; IMAZON, 2016).

Portanto, o sequestro de carbono é uma alternativa recomendada para mitigar as emissões de GEE, possibilitando assim o reflorestamento e recuperação de áreas degradadas. Juntamente com a crescente demanda dessa alternativa, surge também a necessidade por tecnologias que possibilitem estimar o sequestro de carbono, aprimorando e obtendo dados já existentes, podendo ser destacado o uso dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e produtos provenientes do Sensoriamento Remoto (SR) (LEITE; FREITAS, 2013; POLONIO et al. 2015).

Estudos como os de Coltri et al. (2013), Polonio et al. (2015) e Folharini e Oliveira (2017) demonstram a importância da utilização de SIG na obtenção do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e sua interação com Índice de Reflectância Fotoquímico (PRI), para determinação do CO<sub>2</sub> Flux, utilizado na estimação da biomassa e estoque de carbono.

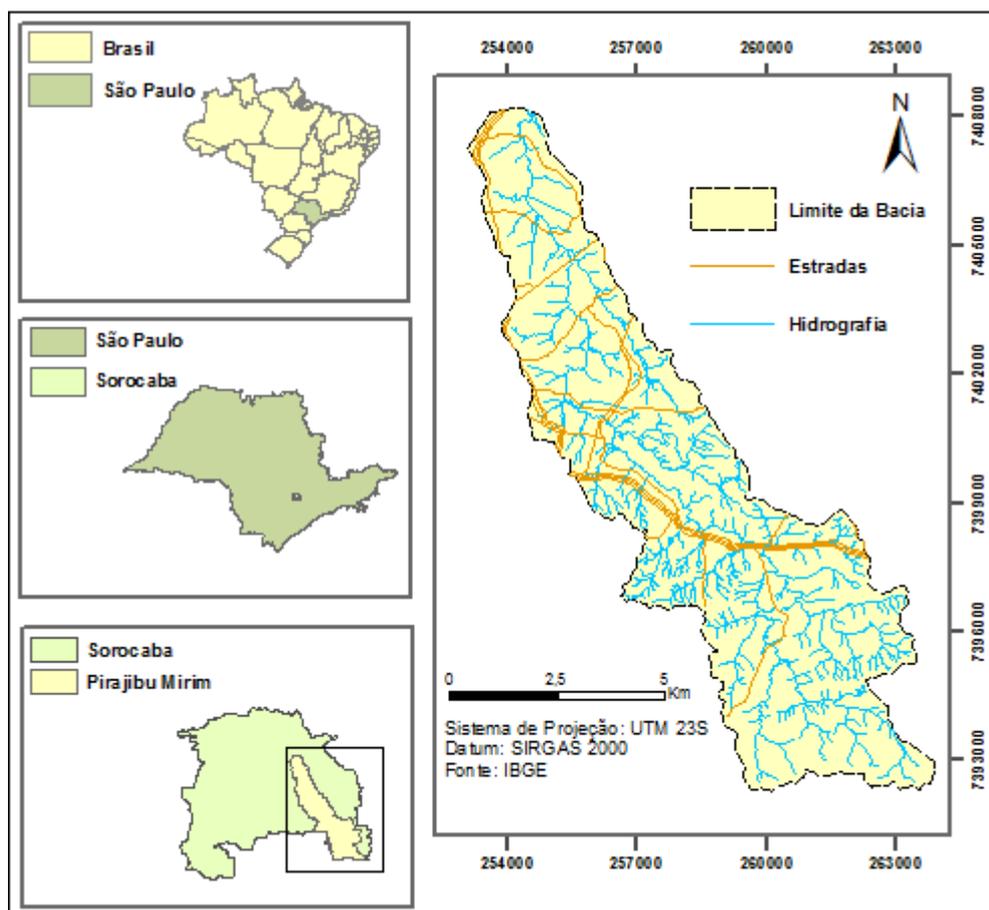
Portanto, o presente estudo visa estimar o potencial de fluxo de CO<sub>2</sub> a partir de índices espectrais calculados com o uso de SIG na Bacia Hidrográfica do Rio Pirajibu-Mirim, localizada no Município de Sorocaba, no Estado de São Paulo.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Pirajibu-Mirim, localiza-se ao sudeste do Município de Sorocaba, no bairro do Inhaíba, passando pelo bairro de Brigadeiro Tobias, aos pés da Serra de São Francisco (Figura 1). Sua cabeceira está localizada a aproximadamente 1.000 metros acima do nível do mar, com clima classificado como subtropical com temperaturas variando entre 15°C a 26°C (TARCITANI; BARRELLA, 2009).

A área foi prioritária, pois é considerada uma importante fonte de captação de água para a região, sendo responsável por 10% do abastecimento de água tratada e distribuída no município de Sorocaba, abastecendo uma população de aproximadamente 60 mil habitantes (CORRÊA; TONELLO; FRANCO, 2016).



**Figura 1.** Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Pirajibu-Mirim, Sorocaba (SP)

Fonte: Elaboração própria.

## 2.2 Determinação do potencial de fluxo de CO<sub>2</sub> através de índices espectrais

Para a análise do potencial de fluxo do dióxido de carbono presente na área de estudo foram adquiridas imagens do satélite Landsat 8 em vários comprimentos de ondas do espectro eletromagnético, na órbita 219 ponto 76 do dia 14 de novembro de 2017, por apresentarem a menor cobertura de nuvens na bacia durante o período chuvoso e quente, por apresentar intenso fluxo de dióxido de carbono e aumento da biomassa das plantas. Foram escolhidas as bandas 5 (infravermelho), 4 (vermelho), 3 (verde) e 2 (azul) para gerar o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), o índice de reflectância fotoquímica (PRI) e o índice do potencial de fluxo de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub> Flux).

As imagens obtidas em cada uma das bandas passaram por um pré-processamento consistindo na mudança do datum horizontal original (WGS1984) para o datum horizontal SIRGAS 2000 que é o sistema geodésico de referência oficialmente adotado no Brasil desde 25 de fevereiro de 2015.

O limite da bacia hidrográfica foi obtido a partir dos dados topográficos disponibilizados pela Prefeitura de Municipal de Sorocaba na escala de 1:1800, enquanto que a delimitação da bacia foi realizada de forma automática no ArcGIS 10.4 a partir do modelo digital do terreno (MDT) gerado pela interpolação dos dados topográficos. Uma vez gerado o limite da bacia hidrográfica, as bandas espectrais obtidas a partir do satélite Landsat 8 foram recortadas para sua utilização na geração dos índices NDVI e PRI.

Primeiramente foi realizado o cálculo do NDVI para estimar a biomassa fotossinteticamente ativa e, posteriormente, relacioná-lo ao estoque de carbono. As bandas espectrais utilizadas foram a banda 4 que expressa a absorção da clorofila pelo vermelho (V) e a banda 5 que possui alta reflectância interna das folhas no infravermelho próximo (IP). Esse índice é calculado pela relação entre o vermelho e o infravermelho próximo expresso na Equação (1) com valores variando entre -1 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, maior a ação fotossintética da vegetação (GAMON; PEÑUELAS; FIELD, 1992; FOLHARINI; OLIVEIRA, 2017; SILVA *et al.*, 2017).

$$\text{NDVI} = \frac{\text{IP}-\text{V}}{\text{IP}+\text{V}} \quad (1)$$

Foi realizado, também, o cálculo do PRI, que tem como objetivo verificar as alterações nos pigmentos de carotenoides na folhagem. Esses pigmentos são indicativos de que houve eficiência do uso da luz fotossintética ou na taxa de dióxido de carbono armazenada pela folhagem (CANAVESI; PONZONI; VALERIANO, 2010; GAMON; PEÑUELAS; FIELD, 1992).

O índice PRI é utilizado em estudos de estresse e produtividade da vegetação e calculado pela relação entre a banda 2 no comprimento de onda visível do espectro eletromagnético do azul (A) e a banda 3 referente ao comprimento de onda eletromagnética visível do verde (Vd), sendo expressa esta diferença pela Equação (2) com seus valores variando, também, entre -1 a 1 (GAMON *et al.*, 2015; GAMON; PEÑUELAS; FIELD, 1992).

$$\text{PRI} = \frac{\text{A} - \text{Vd}}{\text{A} + \text{Vd}} \quad (2)$$

Em posse do índice PRI, faz-se necessário o reescalamento de seus valores para positivos, gerando o índice sPRI. Este reescalamento é necessário para normalizar os dados de “verdor” da vegetação. Esse índice é calculado pela Equação (3) e tem seus valores variando entre 0 e 1 (SILVA; BAPTISTA, 2015).

$$\text{sPRI} = \frac{(\text{PRI}+1)}{2} \quad (3)$$

Após o reescalonamento foi possível então combinar os índices NDVI e sPRI, por meio de uma multiplicação proposta por Rahman et al. (2000) para obtenção do índice CO<sub>2</sub> Flux, que determina o potencial de sequestro de dióxido de carbono pela vegetação fotossinteticamente ativa. Este índice é calculado pela Equação (4), sendo que quanto maior for seu o valor, maior será a eficiência do processo de sequestro de carbono pela vegetação na fase clara da fotossíntese (SILVA; BAPTISTA, 2015).

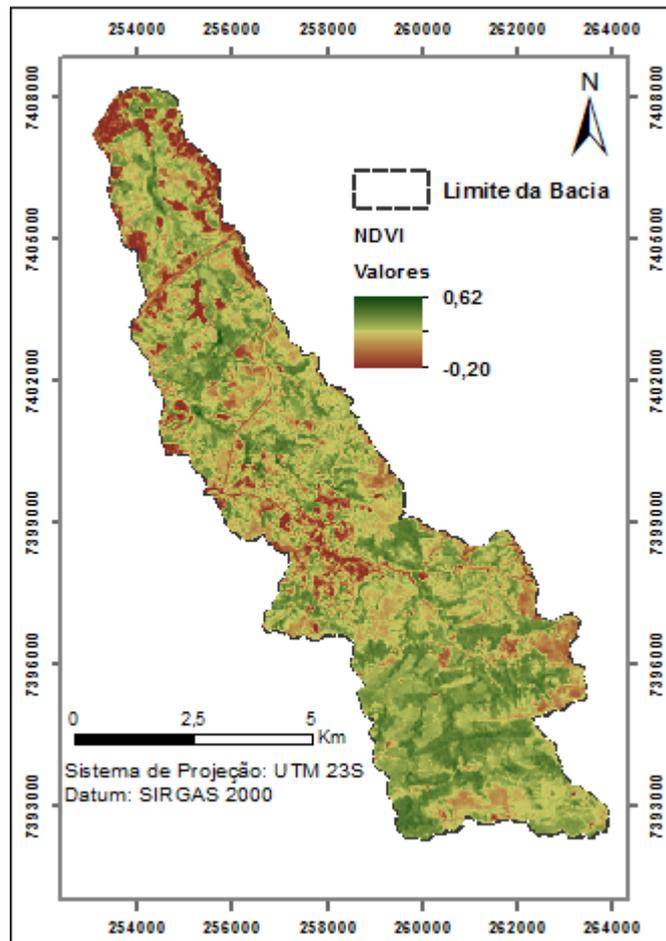
$$\text{CO}_2 \text{ Flux} = \text{sPRI} \times \text{NDVI} \quad (4)$$

Para comparar os valores obtidos para o potencial de fluxo de dióxido de carbono com os tipos de uso do solo existentes na bacia hidrográfica do Pirajibu-Mirim foi utilizado o plano de informação que trata do uso do solo e cobertura vegetal do município de Sorocaba que disponibilizado pela prefeitura deste município, sendo este plano de informação recortado com o uso do plano de informação que contém o limite da área de estudo.

Para o cálculo dos índices espectrais, bem como para a elaboração dos layouts dos mapas foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica ArcGIS 10.4.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados de NDVI para a bacia hidrográfica do Rio Pirajibu-Mirim podem ser observados na Figura 2, com valores que variaram de -0,20 a 0,62; sendo que as regiões em verde mais escuro são correspondentes ao valor mais alto, próximos de 0,62, indicando alta presença de vegetação. Segundo Silva et al. (2017), esse valor pode ser atribuído a áreas de floresta mais densas.



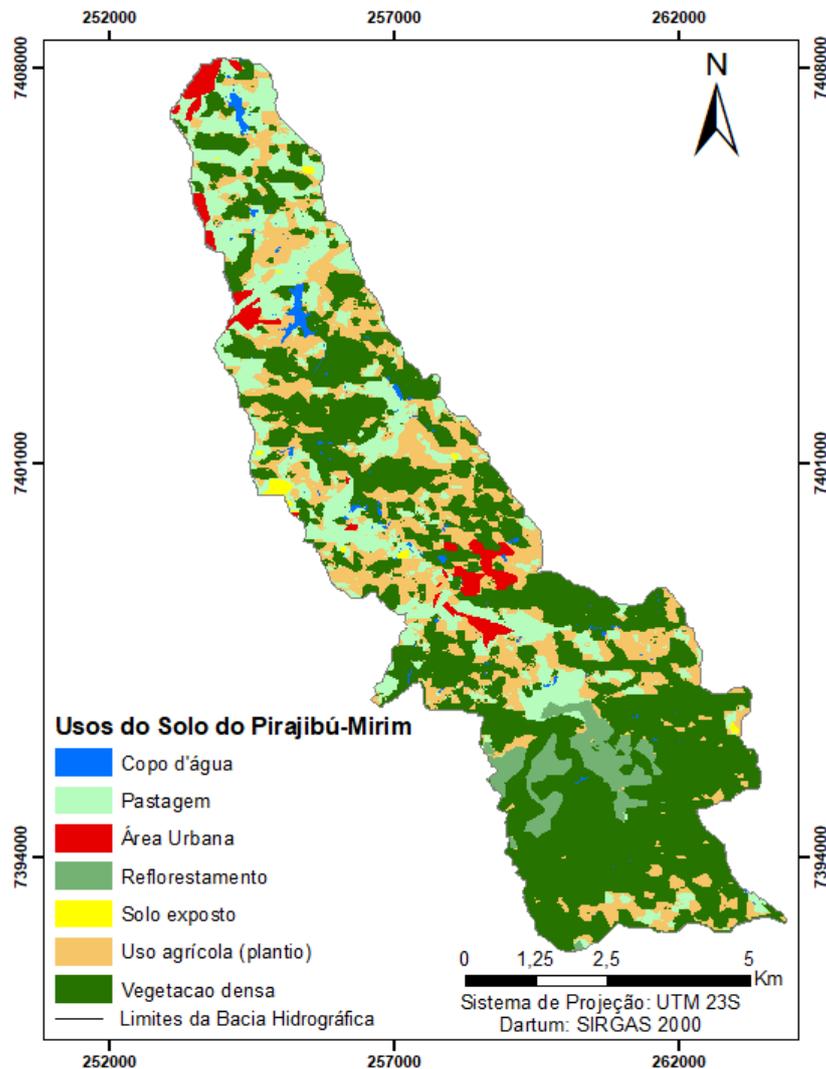
**Figura 2.** Valores do índice NDVI para a Bacia Hidrográfica do Rio Pirajibu Mirim

Fonte: Autoria Própria.

No entanto, as regiões em verde claro e amarelo são indicativas de áreas de agricultura e vegetações rasteiras como áreas de pastagens. Para as regiões em tons vermelhos com valores próximos de -0,20 podem representar áreas de solo exposto, área urbana e corpos hídricos, indicando ausência de vegetação.

O uso e ocupação do solo podem interferir em diversos aspectos de uma bacia hidrográfica devido à modificação da terra, onde áreas de matas são substituídas por áreas urbanizadas, além de culturas agrícolas e áreas de pastagem.

Assim, de modo a inferir sobre os usos do solo existentes na bacia hidrográfica do Pirajibu-Mirim, foi utilizado o mapa de uso do solo e cobertura vegetal disponibilizado pela Prefeitura Municipal de Sorocaba (Figura 3).



**Figura 3.** Uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Pirajibu-Mirim

**Fonte:** Adaptado da Prefeitura do Município de Sorocaba (2011).

A partir da Figura 3 foi possível inferir que as áreas com cobertura agrícola, área urbana, pastagem e solo exposto são áreas que apresentaram menor índice de NDVI, conforme expresso na Figura 2.

Os resultados obtidos do uso e ocupação do solo obtidos na Bacia Hidrográfica do Pirajibu-Mirim corroboram com os estudos realizados por Silva et al. (2017), que utilizou a metodologia de NDVI na Bacia Hidrográfica do Rio Una, e constatou que as áreas com maior perda de solos eram áreas com culturas agrícolas. Do mesmo modo, Demarchi et al. (2011) realizou uma análise temporal do uso do solo no município de Santa Cruz do Rio Pardo (SP) a partir de imagens do satélite Landsat-5, e utilizando os índices de vegetação NDVI e SAVI, tendo obtido bons resultados na análise temporal da vegetação do município. Estudos realizados por Melo, Sales e Oliveira (2011) permitiram a comparação da cobertura vegetal atual com a cobertura vegetal pretérita do município de Crateus (CE), na microbacia hidrográfica do Riacho de Cavalos, oferecendo subsídios à gestão pública do município.

Os resultados dos índices PRI e sPRI foram demonstrados na Figura 4, e

apresentaram valores de PRI variando de -0,11 a 0,14, que segundo Gamon (1997), indicam a eficiência quanto ao uso da luz na fotossíntese.

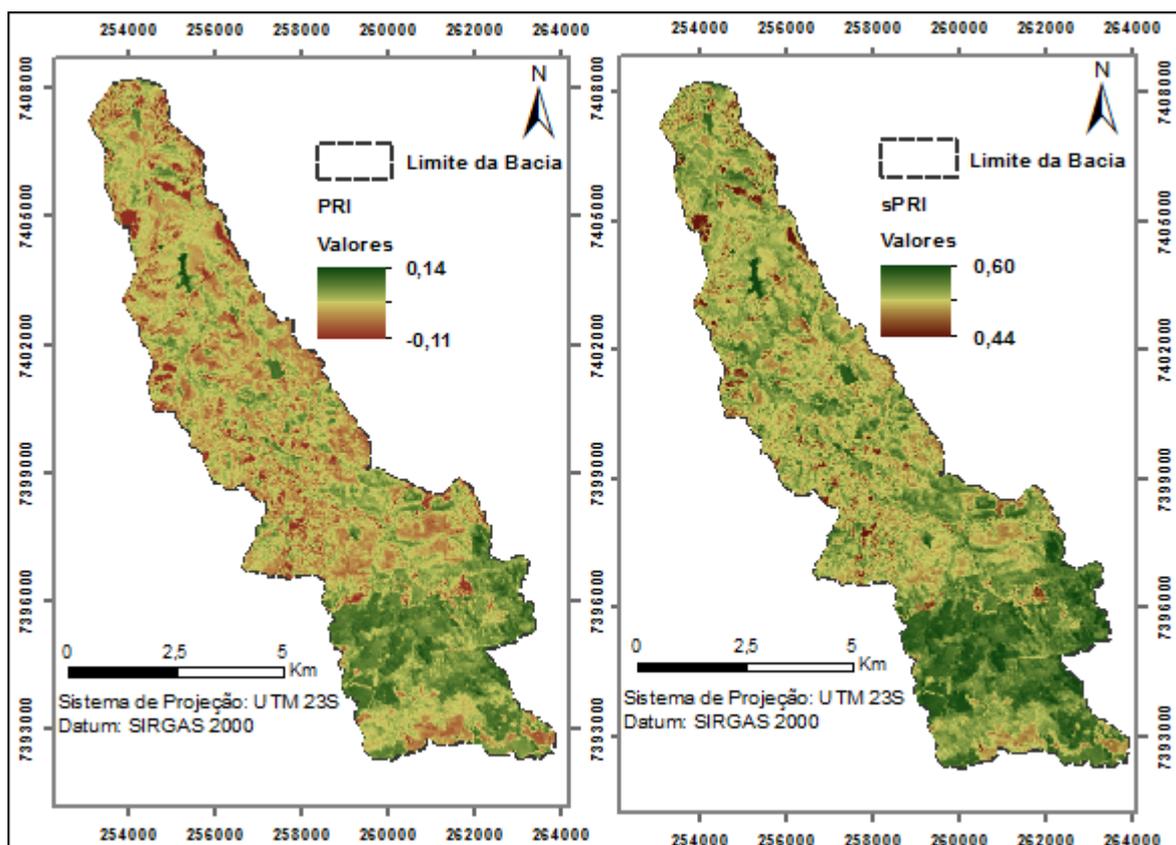
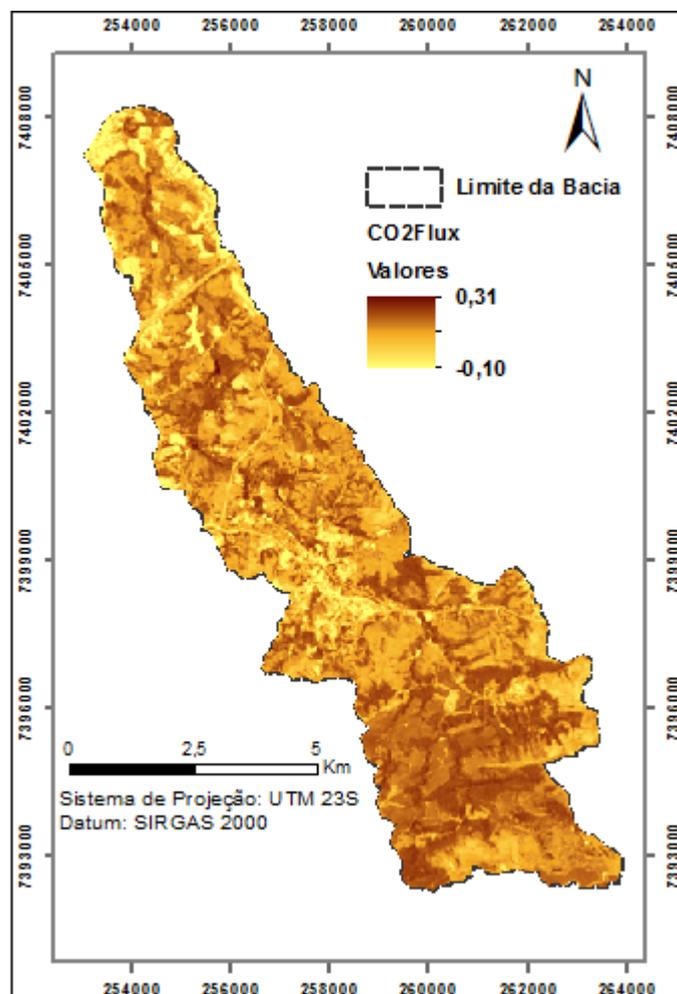


Figura 4. Valores dos Índices PRI e sPRI para a Bacia Hidrográfica do Rio Pirajibu-Mirim  
Fonte: Autoria Própria.

A partir da Figura 4 foi possível inferir que às áreas localizadas ao sul da bacia hidrográfica apresentaram maiores atividades fotossintéticas, com valores de PRI próximos de 0,14; onde estão situados os maiores fragmentos florestais da Bacia Hidrográfica do Pirajibu-Mirim. No entanto, para o sPRI, os valores variaram de 0,44 a 0,60 representando de forma mais clara que a bacia possui em sua extensão uma produção fotossintética moderada, devido ao tipo de vegetação presente ou possível estresse na vegetação.

Todavia, de modo a analisar o potencial de fluxo de carbono presente na Bacia Hidrográfica do Pirajibu-Mirim foi utilizado o índice CO<sub>2</sub> Flux (Figura 5).



**Figura 5.** Valores do Índice CO<sub>2</sub> Flux para a Bacia Hidrográfica do Rio Pirajibu-Mirim

Fonte: Autoria Própria.

Os valores apresentados na Figura 5 para o CO<sub>2</sub> Flux, variaram de -0,10 a 0,31; sendo que quanto maior o valor obtido, maior será o estoque armazenado de carbono. Portanto, os valores mais elevados se encontraram nas regiões de floresta mais densa e mais desenvolvidas que estão localizadas ao sul da bacia. Entretanto, também foi possível observar algumas faixas com elevados valores distribuídas ao longo de toda a bacia hidrográfica.

Os valores mais baixos de CO<sub>2</sub> Flux indicam a diversidade da cobertura vegetal, absorvendo uma menor quantidade de CO<sub>2</sub>. No entanto, os valores negativos indicam áreas urbanizadas, sendo pobres em valores de estoque de carbono, conforme constatado na Figura 3, que retratou o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica. Ainda, foi possível inferir que as vastas áreas de pastagens e culturas agrícolas presentes na bacia diminuiriam significativamente a absorção do CO<sub>2</sub> na área.

Gomes et al. (2016) utilizaram o sensoriamento remoto no bioma da Caatinga de modo a verificar as mudanças provocadas pelo uso da terra, e verificaram que as alterações decorrentes das atividades antrópicas interferem significativamente na estocagem do carbono.

Resultados semelhantes foram obtidos nos estudos realizados por Polonio et

al. (2015), que encontraram faixas de CO<sub>2</sub> Flux entre 0,06 e 0,44 para o município de Botucatu, considerando o ano de 2001 como o melhor em termos de atividade fotossintética e estocagem de carbono pela vegetação nos períodos analisados pelos autores.

Baptista (2003) utilizou a metodologia proposta por Rahmam et al. (2000) para analisar uma área tropical de Cerrado, utilizando também um índice para identificação do CO<sub>2</sub> na coluna de ar, possibilitando a identificação de fenômenos de domos urbanos de CO<sub>2</sub> que, segundo o autor, indica uma elevada concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico na coluna de ar adjacente às zonas ou alvos urbanos, sendo que essa concentração tende a diminuir nas zonas rurais.

Silva e Baptista (2015) analisaram dados espectrais por meio de imagem de satélites em diferentes ambientes na Amazônia brasileira, correlacionando os dados obtidos por sensoriamento remoto com os dados das torres de monitoramento de CO<sub>2</sub> presentes na Amazônia. Segundo os autores, os resultados obtidos das correlações estatísticas com o NDVI foi o que apresentou o melhor ajuste quando associado aos dados de CO<sub>2</sub> (em ppm) medidos pelas torres.

#### 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O NDVI encontrado para a bacia hidrográfica do Rio Pirajibu-Mirim apresentou valores que variaram de -0,20 a 0,62, indicando um melhor grau de saudabilidade da vegetação ao sul da bacia hidrográfica. Enquanto que para os índices PRI e sPRI, houveram variações de -0,11 a 0,14 e 0,44 a 0,60 sucessivamente, indicando maior eficiência fotossintética nas áreas ao sul da bacia.

Portanto, a partir dos índices NDVI, PRI, sPRI e CO<sub>2</sub> Flux foi possível verificar a vegetação presente na bacia estudada e estimar o potencial de fluxo de dióxido de carbono, demonstrando que a bacia apresenta um fluxo de dióxido de carbono baixo quando comparado ao máximo da escala de valores possíveis, indicando a necessidade da ampliação da cobertura vegetal que, por conseguinte, serve para proteger a quantidade e qualidade das águas dessa importante bacia hidrográfica para abastecimento público do município de Sorocaba.

Desta forma, os índices utilizados no estudo permitiram inferir sobre o estado da vegetação presente na Bacia Hidrográfica do Pirajibu-Mirim, evidenciando que a bacia possui fragmentos importantes de vegetação que devem ser preservados. No entanto, há a necessidade de recomposição florestal em boa parte da bacia hidrográfica, uma vez que as atividades predominantes da bacia consistem em atividades agrícolas e pastoris.

Estudos realizados por meio de sensoriamento remoto e geoprocessamento são ferramentas de extrema importância para a análise ambiental, pois permitem inferir sobre diversos aspectos da paisagem com custos bastante reduzidos quando

comparados às análises *in situ*.

Estudos como esse, demonstram ser importantes instrumentos para os gestores públicos no planejamento do parcelamento do solo e proposição de medidas normativas que garantam um ambiente mais sustentável frente ao crescimento urbano e econômico.

## REFERÊNCIAS

- BAPTISTA, G.M. M. D. Validação da modelagem de sequestro de carbono para ambientes tropicais de cerrado, por meio de dados AVIRIS HYPERION. In: XI **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2003, Belo Horizonte. Anais... São José dos Campos: INPE, p. 1037-1044, 2003.
- BARBOSA, H. M. J. Vapor de Água na Atmosfera: do efeito estufa às mudanças climáticas. **Revista USP**, n. 103, p. 67-80, 2014.
- BARRETO, L. V.; FREITAS, A. C. S.; PAIVA, L. C. Sequestro de carbono. **Enciclopédia Biosfera**, n. 7, p. 1-10, 2009.
- BENJAMÍN, J. A.; MASERA, O. Captura de carbono ante el cambio climático. **Madera y bosques**, v. 7, n. 1, 2001.
- CANAVESI, V.; PONZONI, F. J.; VALERIANO, M. M. Estimativa de volume de madeira em plantios de Eucalyptus spp. utilizando dados hiperespectrais e dados topográficos. **Revista Árvore**, v. 34, n. 3, p. 539-549, 2010.
- CARVALHO, J. L. N. et al. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, 2010.
- CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Agricultura e aquecimento global. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 40-44, 2007.
- COLTRI, P. P.; ZULLO, J.; GONÇALVES, R. R. V.; ROMANI, L. A. S.; PINTO, H. S. Coffee Crop's Biomass and Carbon Stock Estimation With Usage of High Resolution Satellites Images. **Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 6, n. 3, p. 1786-1795, 2013.
- CORRÊA, C. J. P.; TONELLO, K. C.; FRANCO, F. S. Análise Hidroambiental da Microbacia do Pirajibu-Mirim, Sorocaba, SP, Brasil. **Ambiente & Água**, v. 11, n. 4, 2016.
- COTTA, M. K.; COLTRI, P. P. Geração de Créditos de Carbono por sistemas Florestais. **Revista da Madeira**, v. 119, p. 48-53, 2009.
- DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo–SP usando imagens Landsat-5. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 21, 2011.
- DIAS, M. A. F. S. Efeito estufa e mudanças climáticas regionais. **Revista USP**, n. 71, p. 44-51, 2006.
- FOLHARINI, S. O.; OLIVEIRA, R. C. Cálculo do Índice Espectral CO<sub>2</sub> FLUX em área de mata atlântica e sua relação com processos gravitacionais no município de Cubatão. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, n. 2017, p. 4642-4653, 2017.
- GAMON, J. A.; KOVALCHUCK, O.; WONG, C. Y. S.; HARRIS, A.; GARRITY, S. R. Monitoring

seasonal and diurnal changes in photosynthetic pigments with automated PRI and NDVI sensors. **Biogeosciences**, v. 12, n. 13, p. 4149-4159, 2015.

GAMON, J. A.; PEÑUELAS, J.; FIELD, C. B. A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. **Remote Sensing of Environment**, v.41, n.1, p.35-44, 1992.

GAMON, J. SERRANO, L.; SURFUS, J. S. The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels. **Oecologia**, v. 112, n. 4, p. 492-501, 1997.

GOMES, V. P. et al. Sensoriamento remoto hyperspectral aplicado para análise dos indicadores de resiliência e suscetibilidade do bioma caatinga frente às mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 4, p. 1122-1136, 2016.

IMAZON, INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA. Coordenação Técnica. **Emissões de GEE do Setor Mudança de Uso da Terra**, 2016. 52 p. Disponível em: <<http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2016/09/16-09-16-RelatorioSEEG-MUT.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2017.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. IPCC, Cambridge, 2007.

LEITE, M. E.; FREITAS, M. F. Análise Espaço-Temporal do Uso da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio Tabuas, Norte de Minas Gerais, com Aplicação das Geotecnologias. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 2, p. 184-194, 2013.

MATA, M. V. M. et al. Emissões de CO<sub>2</sub> Provenientes do Uso e Mudanças no Uso da Terra no Bioma Caatinga no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 1, p. 144-155, 2015.

MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 23, 2011.

NOBRE, C. A.; REID, J.; VEIGA, A. P. S. **Fundamentos científicos das mudanças climáticas**. São José dos Campos, SP: Rede Clima/INPE, 2012.

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

PACHAURI, R. K. et al. **Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. IPCC, 2014.

POLONIO, V. D. et al. Avaliação temporal do sequestro de carbono por meio de imagens orbitais na região de Botucatu-SP. In: **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2015, João Pessoa, PB. Anais... João Pessoa, PB: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, p. 4025- 4032, 2015.

RAHMAN, A.F.; GAMON, J.A; FUENTES, D.A; ROBERTS, D.; PRENTISS, D.; QIU, H. Modeling CO<sub>2</sub> flux of boreal forests using narrow-band índices from AVIRIS imagery. In: **AVIRIS Workshop**, JPL/ NASA, Pasadena, Califórnia, 2000.

ROBERTSON, G. P.; PAUL, E. A.; HARWOOD, R. R. Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. **Science**, v. 289, n. 5486, p. 1922-1925, 2000.

SILVA, D. C. C., ALBUQUERQUE FILHO, J. L., SALES, J. C. A., LOURENÇO, R. W. Identificação de áreas com perda de solo acima do tolerável usando NDVI para o cálculo do fator C da USLE.

**Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 42, p. 72-85, 2017.

SILVA, S. C. P.; BAPTISTA, G. M. D. Análises espectrais da vegetação com dados hyperion e sua relação com a concentração e o fluxo de CO<sub>2</sub> em diferentes ambientes na amazônia brasileira. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 21, no 2, p.354-370, 2015.

TARCITANI, F. C.; BARRELLA, W. Conhecimento Etnoictológico dos Pescadores Desportivos do Trecho Superior da Bacia do Rio Sorocaba. **Revista Eletrônica de Biologia**, v. 2, n. 2, p. 1-28, 2009.

TONIOLO, J. C.; CARNEIRO, C. D. R. Processos geológicos de fixação de carbono na Terra e aquecimento global. **Terra e Didática**, v. 6, n. 1, p. 31-56, 2010.

WMO, World Meteorological Organization. **Statement on the State of the Global Climate in 2016**. WMO, 2017, 28 p.

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**Leonardo Tullio** Engenheiro Agrônomo (Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais-CESCAGE/2009), Mestre em Agricultura Conservacionista – Manejo Conservacionista dos Recursos Naturais (Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR/2016). Atualmente, é professor colaborador do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG, também é professor efetivo do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais – CESCAGE. Tem experiência na área de Agronomia – Geotecnologias, com ênfase em Topografia, Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. E-mail para contato: leonardo.tullio@outlook.com

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-85107-48-2



9 788585 107482