

# Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto

Leonardo Tullio  
(Organizador)



**Atena**  
Editora

Ano 2018

**LEONARDO TULLIO**

(Organizador)

# **Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto**

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 [recurso eletrônico]  
/ Organizador Leonardo Tullio. – Ponta Grossa (PR): Atena  
Editora, 2018. – (Aplicações e Princípios do sensoriamento  
remoto; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-85107-54-3

DOI 10.22533/at.ed.543180210

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

A obra “Aplicações e princípios de Sensoriamento Remoto” aborda em seu primeiro Volume uma apresentação de 21 capítulos, no qual os autores tratam as mais recentes e inovadoras pesquisas voltadas para a área de Sensoriamento Remoto em suas diversas aplicações no meio urbano e rural.

O uso de imagens de satélite através do Sensoriamento Remoto está cada vez mais sendo utilizada para o planejamento e tomada de decisão rápida, visto que, a era tecnológica permite rapidez e confiança nos resultados. Contudo, sua utilização está na dependência de fatores de interação entre ambiente e sensor, que afetam nos produtos finais. Assim, sua qualidade depende de quatro tipos de resolução: temporal; espacial; espectral e radiométrica, que se referem a condição do satélite, isso deve ser levado em consideração no tipo de análise e o que pretende -se analisar.

Em contrapartida, a aquisição de imagens a nível terrestre já é possível com a utilização dos VANTES (Veículo Aéreo não Tripulado), porém fatores afetam seu movimento e resultam em imagens com pouca qualidade, estando diretamente na dependência do tipo de sensores acoplados. A análise por modelos e técnicas computacionais permite melhores e mais confiáveis resultados, que podem expressar a real condição. Porém, índices para comparação de variáveis ainda são desconhecidos e necessitam de trabalhos mais específicos para a geração de mapas interativos e virtuais.

Assim, o Sensoriamento Remoto é atualmente a área que mais cresce, visto a possibilidade da interação e tomada de decisão por meio de imagens e programas computacionais, tornando uma grande ferramenta em diversas áreas de atuação.

Por fim, espero que esta obra atenda a demanda por conhecimento técnico de qualidade e que novas pesquisas utilize-a de norte para traçar novos rumos para o Sensoriamento Remoto Aplicado.

Leonardo Tullio

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
A DINÂMICA DE FOCOS DE CALOR NO ESTADO DO ACRE ENTRE OS ANOS DE 2004 E 2010	
<i>Juliana de Oliveira Tostes</i>	
<i>Márcio Rocha Francelino</i>	
<i>José Francisco de Oliveira Júnior</i>	
<i>Gustavo Bastos Lyra</i>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>13</b>
ADEQUAÇÃO DE BANCO DE DADOS E UTILIZAÇÃO DE ATRIBUTO DE HIERARQUIA NA GERAÇÃO DE ROTAS ÓTIMAS PARA O ESCOAMENTO DA PRODUÇÃO FLORESTAL	
<i>Júlia Vaz Tostes Miluzzi de Oliveira</i>	
<i>Pedro Sepulveda Neto</i>	
<i>Charles Marques de Souza</i>	
<i>Fausto Weimar Acerbi Junior</i>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>25</b>
ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MÉTODOS DE GERAÇÃO DE MDT APLICADO AO PARQUE AMBIENTAL VITÓRIO PIASSA - PR	
<i>Gabriel Roldo Gomes</i>	
<i>João Henrique Ferrarini</i>	
<i>Marcelle Luisa Calegari</i>	
<i>Danielli Batistella</i>	
<i>Priscila da Silva Victorino</i>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>34</b>
ANÁLISE DA DINÂMICA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E SUAS IMPLICAÇÕES COM O ZONEAMENTO DO SOLO URBANO NA BACIA DO RIBEIRÃO CAMBUÍ, SÃO JOSÉ DOS CAMPOS - SP.	
<i>Paulo Roberto Belisário</i>	
<i>Maiara Resende Ribeiro</i>	
<i>Mario Valério Filho</i>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>44</b>
ANÁLISE DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE NA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA (RMG), NO PERÍODO DE 1986 A 2016	
<i>Joelson de Souza Passos</i>	
<i>Jepherson Correia Sales</i>	
<i>Gabriella Santos Arruda de Lima</i>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>57</b>
ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DA ÁREA URBANA DE UM TRECHO DO RECIFE E REGIÃO METROPOLITANA ATRAVÉS DE ORTOFOTOCARTAS ANTIGAS E IMAGEM DO GOOGLE EARTH	
<i>Leonardo Carlos Barbosa</i>	
<i>Luiz Carlos Barbosa da Silva</i>	
<i>Laízy de Santana Azevedo</i>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>66</b>
ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DE PARTE DE BAIRRO NOVO - OLINDA ENTRE 1986 A 2014 UTILIZANDO ORTOFOTOCARTA E ORTOFOTOS	
<i>Júlio César Albuquerque Simões Belo</i>	
<i>Mirelly de Oliveira Farias</i>	
<i>Carlos Alberto Borba Schuler</i>	

**CAPÍTULO 8 ..... 75**

ANÁLISE MULTITEMPORAL DA COBERTURA DE DUNAS AO LONGO DO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DO NORTE RS VIA DADOS TM LANDSAT 5

*Jean Marcel de Almeida Espinoza*  
*Deivid Cristian Leal Alves*  
*João Augusto de Carvalho Ferreira*  
*Jefferson Rodrigues dos Santos*  
*André Bilibio Westphalen*  
*Miguel da Guia Albuquerque*

**CAPÍTULO 9 ..... 83**

ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR DA CANA-DE-AÇÚCAR A PARTIR DE IMAGENS DO SATÉLITE LANDSAT-8 (OLI)

*Rodrigo Moura Pereira*  
*Dayanna Teodoro Quirino*  
*Derblai Casaroli*  
*Lucas Melo Vellame*  
*Delvio Sandri*

**CAPÍTULO 10 ..... 98**

ESTUDO DO DESFLORESTAMENTO E QUALIDADE AMBIENTAL A PARTIR DO USO DE TECNOLOGIAS EM SENSORIAMENTO REMOTO

*Roberta Monique da Silva Santos*  
*Stiffanny Alexa Saraiva Bezerra*  
*Álefe Lopes Viana*  
*Nelson Felipe de Albuquerque Lins Neto*  
*José Roselito Carmelo da Silva*

**CAPÍTULO 11 ..... 115**

EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO SISTEMA ESTUARINO DA BAÍA DE VITÓRIA - SEBV E IMPLICAÇÕES PARA O GRADIENTE FLÚVIO-ESTUARINO.

*Fernando Jakes Teubner Junior*  
*Gilberto Fonseca Barroso*

**CAPÍTULO 12 ..... 131**

ÊXODO RURAL E ESTADO DA VEGETAÇÃO NATIVA: DESENVOLVIMENTO DE UM INDICADOR SOCIOECONÔMICO E VALIDAÇÃO COM IMAGENS DE SATÉLITE NO MUNICÍPIO DE CANGUÇU - RS, BRASIL

*Jefferson Rodrigues dos Santos*  
*Júlia Borges Telmo*  
*Lucas Munhoz Caseiro*  
*Jean Marcel de Almeida Espinosa*  
*João Augusto de Carvalho Ferreira*

**CAPÍTULO 13 ..... 142**

FRAGILIDADE AMBIENTAL DE UMA MICROBACIA, VISANDO O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

*Sérgio Campos*  
*Marcelo Campos*  
*Thyellenn Lopes de Souza*  
*Mateus Campos Leme*  
*Mikael Timóteo Rodrigues*

**CAPÍTULO 14 ..... 152**

IMAGEM DE REFLECTÂNCIA DE SUPERFÍCIE USGS COMO REFERÊNCIA PARA COMPARAÇÃO DE DIFERENTES MÉTODOS DE CORREÇÃO ATMOSFÉRICA

*Patricia Michele Pereira Trindade*  
*Dejanina Luderitz Saldanha*

<i>Waterloo Pereira Filho</i>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>163</b>
INFERÊNCIA DA PROFUNDIDADE DA ZONA EUFÓTICA E DO COEFICIENTE VERTICAL DE ATENUAÇÃO DE LUZ NA ÁGUA DA REPRESA MAUÁ, RIO TIBAGI/PR, A PARTIR DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS LANDSAT-8/OLI	
<i>Adriana Castreghini de Freitas Pereira</i>	
<i>Paulo Henrique Marques de Castro</i>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>174</b>
MODELAGEM DE CORREDORES ÓTIMOS PARA INSTALAÇÃO DE EMPREENDIMENTOS FERROVIÁRIOS COM O SOFTWARE LIVRE DINÂMICA EGO A PARTIR DE PRODUTOS GRATUITOS DE SENSORIAMENTO REMOTO	
<i>Felipe Ramos Nabuco de Araújo</i>	
<i>Jefferson William Lopes Almeida</i>	
<i>Ítalo Sousa de Sena</i>	
<i>Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega</i>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>187</b>
PLANEJAMENTO DE UNIDADES DE GESTÃO DIFERENCIADA EM PROJETO DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL NA AMAZÔNIA	
<i>Daniel de Almeida Papa</i>	
<i>Evandro Orfanó Figueiredo</i>	
<i>Alexandre Pansini Camargo</i>	
<i>Luiz Carlos Estraviz Rodriguez</i>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>199</b>
RELAÇÃO ENTRE RESPOSTA ESPECTRAL, BIOMASSA E ESTOQUE DE CARBONO EM OCORRÊNCIAS DE CERRADO NA PORÇÃO MINEIRA DA BACIA DO RIO PARDO: ESTUDO PRELIMINAR	
<i>Ronaldo Medeiros dos Santos</i>	
<i>Vinícius Orlandi Barbosa Lima</i>	
<i>Marcelo Rossi Vicente</i>	
<i>Talita Moreira Câmara</i>	
<i>Cecília Cristina Almeida Mendes</i>	
<i>Diana Marques Silva</i>	
<i>Gesiane Simara Barbosa</i>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>209</b>
SENSORIAMENTO REMOTO NA CULTURA DO ALGODÃO	
<i>Ziany Neiva Brandão</i>	
<i>João Henrique Zonta</i>	
<i>Luciano Shozo Shiratsuchi</i>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>225</b>
TEMPERATURA DE BRILHO POR MEIO DE IMAGENS LANDSAT-8 NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL TIETÊ NO ESTADO DE SÃO PAULO	
<i>Adriana Fantinati Conceição</i>	
<i>Denivaldo Ferreira de Souza</i>	
<i>Pedro Enrico Salamim Fonseca Spanghero</i>	
<i>Lindon Fonseca Matias</i>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>235</b>
UTILIZAÇÃO DE IMAGENS CCD-CBERS-2B NA ANÁLISE DOS ALINHAMENTOS GEOLÓGICOS DA PROVÍNCIA PEGMATÍTICA BORBOREMA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE	
<i>Paulo Sérgio de Rezende Nascimento</i>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>248</b>

## A DINÂMICA DE FOCOS DE CALOR NO ESTADO DO ACRE ENTRE OS ANOS DE 2004 E 2010

### **Juliana de Oliveira Tostes**

Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Campus Pinheiral Pinheiral - RJ

### **Márcio Rocha Francelino**

Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Solos  
Viçosa - MG

### **José Francisco de Oliveira Júnior**

Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Ciências Atmosféricas  
Maceió - AL

### **Gustavo Bastos Lyra**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Departamento de Ciências Ambientais  
Seropédica - RJ

**RESUMO:** Este trabalho pretende identificar o comportamento sazonal dos focos de calor no estado do Acre, entre os anos de 2004 e 2010, assim como analisar a relação entre os valores do Índice de Precipitação Padronizado (SPI – Standardized Precipitation Index) e o número e distribuição espacial dos focos de calor no estado. Os dados de foco de calor foram baixados do banco BDQueimadas e os de precipitação foram extraídos do Global Precipitation Climate Centre (GPCC). Com estes últimos dados quantificou-se o déficit ou o excesso de precipitação através do SPI. Os resultados deste índice foram interpolados através de krigagem

ordinária e foram sobrepostos aos focos de calor. Para mensurar o quantitativo de focos de calor próximos a áreas desmatadas, utilizou-se os polígonos de desmatamento detectados pelo Projeto de Monitoramento do Desmatamento da Amazônia por Satélite (PRODES). Em seguida, foram gerados buffers em torno das áreas desmatadas com distâncias de 1, 2, 3 e 4 km e realizou-se uma análise de correlação entre a proximidade de área desmatada e o número de focos de calor. Verificou-se que, embora a estiagem anômala propicie um aumento do número de focos, o seu padrão espacial está mais relacionado a fatores antrópicos, tais como a proximidade de áreas já desmatadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Índice de Precipitação Padronizado (SPI); incêndios florestais; desmatamento

**ABSTRACT:** This paper aims to identify the seasonal behavior of the hotspots in the state of Acre, between 2004 and 2010, as well as to analyze the relationship between the values of the Standardized Precipitation Index (SPI) and the spatial number and distribution of hotspots in the state. The heat focus data were downloaded from the BDQueimadas database and the precipitation data were extracted from the Global Precipitation Climate Center (GPCC). With the latter data the deficit or the

excess of precipitation was quantified through the SPI. The results of this index were interpolated through ordinary kriging and were superimposed on the heat sources. In order to measure the quantity of heat sources near deforested areas, the deforestation polygons detected by the Amazon Deforestation Monitoring Project (PRODES) were used. Then, buffers were generated around deforested areas with distances of 1, 2, 3 and 4 kilometers and a correlation analysis was performed between the proximity of deforested area and the number of hotspots. It was verified that, although anomalous drought causes an increase in the number of hotspots, its spatial pattern is more related to anthropic factors, such as the proximity of already deforested areas.

**KEYWORDS:** Standardized Precipitation Index (SPI); forest fires; deforestation

## 1 | INTRODUÇÃO

A floresta Amazônica é conhecida por ser resistente à seca sazonal, constituindo-se numa barreira natural à propagação do fogo. Porém, a ocorrência de eventos climáticos extremos, que afetam o padrão da precipitação pluvial, diminui a capacidade de resiliência da floresta (BROWN et al, 2006; ARAGÃO et al., 2008; SCHROEDER et al, 2009; SOARES FILHO et al., 2012).

Este cenário é preocupante, pois diversos estudos (ZENG et al., 2008; YOON et al., 2010, MARENGO et al., 2011) apontam que, diante das mudanças climáticas globais, eventos extremos se tornarão cada vez mais frequentes.

Paralelamente à questão climática, o intenso processo de desmatamento e de degradação da floresta também contribui para a diminuição da resistência das fitofisionomias aos períodos de estiagem, deixando-as mais vulneráveis à propagação de incêndios (ARAGÃO et al., 2008; COCHRANE e BARBER, 2009).

Esse processo se inicia com a floresta intacta, passa pela exploração da madeira até a conversão florestal para atividades agropecuárias. Estes estágios podem demorar alguns anos, sendo o uso do fogo uma prática recorrente, seja para as etapas da conversão florestal em si, seja para a limpeza e manutenção do terreno de áreas já desmatadas (COCHRANE e LAURANCE, 2002; INPE, 2014).

As queimadas e incêndios florestais podem ser detectados via sensoriamento remoto, o que se torna fundamental em uma região de grande extensão territorial e com muitas áreas de difícil acesso.

Diante desse cenário, numa tentativa de tentar compreender a dinâmica dos focos de calor no estado do Acre, este trabalho pretende identificar o comportamento sazonal dos focos de calor no estado do Acre, entre os anos de 2004 e 2010. Além disso, pretende-se analisar a relação entre os valores do Índice de Precipitação Padronizado (SPI – Standardized Precipitation Index) e o número e distribuição espacial dos focos de calor no estado.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

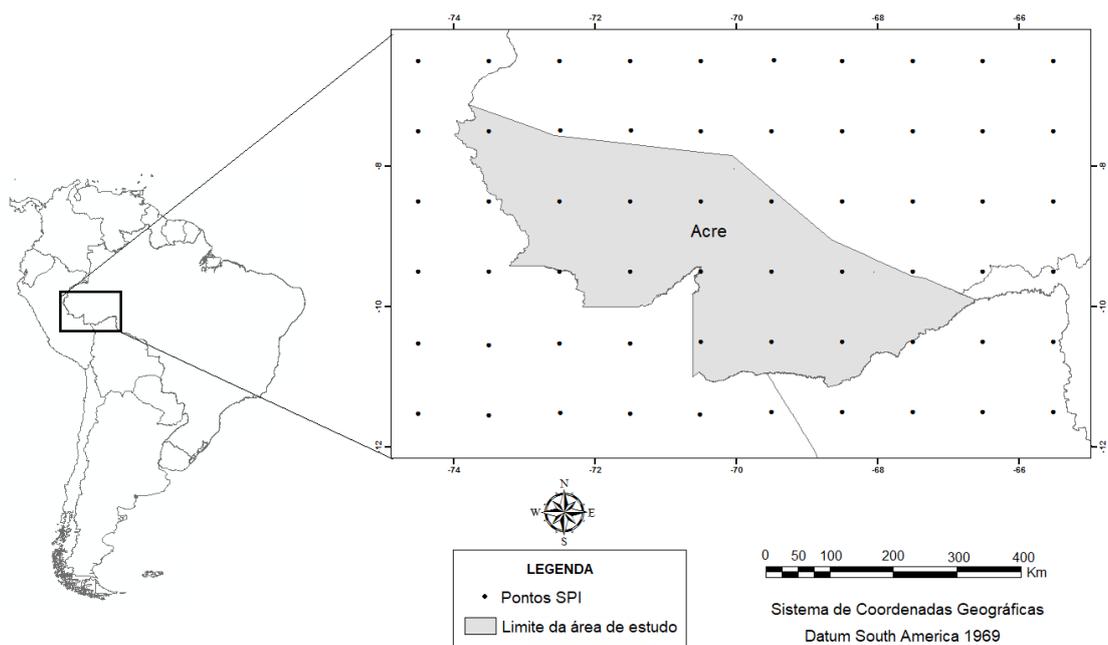
Os dados de focos de calor entre 2004 e 2010 foram baixados do Projeto BDQueimadas (<http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>), disponibilizados gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Os dados de focos de calor foram derivados das imagens do sensor AVHRR do satélite NOAA-12 e do sensor MODIS do satélite AQUA M-T, com resolução espacial de 1km<sup>2</sup>. Apesar de estarem disponíveis dados de focos de diversos outros satélites, selecionou-se apenas estes dois para evitar com que um mesmo foco fosse contabilizado duas vezes, superestimando o número dos mesmos.

Para se realizar uma análise sobre a influência da precipitação na ocorrência e distribuição de focos de calor, foram utilizados dados do modelo climático de precipitação do Global Precipitation Climatology Centre (GPCC), entre os anos de 1948 a 2010. Os dados foram organizados em uma grade (Figura 1) composto de 60 pares de pontos, com 6° de latitude e 10° de longitude, o que formou uma série de dados que extrapolou o estado do Acre. Isso foi realizado com o intuito de diminuir o efeito de borda decorrente do processo de interpolação que foi realizado posteriormente.

Para cada par de coordenadas, quantificou-se o déficit ou o excesso de precipitação através do SPI, considerando-se a escala trimestral. O SPI foi desenvolvido por McKee et al. (1993) e baseia-se em um banco de dados de precipitação com no mínimo de 30 anos. Para realizar o cálculo do SPI, os valores de precipitação foram ajustados através da distribuição gama e, posteriormente, foram transformados em uma distribuição normal.

Os cálculos que geraram o SPI foram realizados no Excel 2010, e os resultados foram classificados de acordo com McKee et al.(1993) (Tabela 1).



**Figura 1.** Pontos de grade utilizados para cálculo e interpolação do índice SPI no Acre.

SPI	Categoria
≥ 2,00	Extremamente úmido
1,5 a 1,99	Muito úmido
1,00 a 1,49	Moderadamente úmido
0,99 a -0,99	Próximo ao normal
-1,00 a -1,49	Moderadamente seco
-1,50 a -1,99	Muito seco
≤ -2,00	Extremamente seco

**Tabela 1.** Classificação dos períodos secos e úmidos do Índice de Precipitação Padronizada

Fonte: McKee et al.(1993)

Os valores de SPI para cada um dos 60 pontos do grid foram agrupados em uma única tabela e exportados para o ArcGis 10.2. Com o intuito de analisar a relação entre a distribuição espacial de focos de calor e as condições de seca meteorológica, os dados pontuais do SPI referente aos anos de 2004 a 2010 foram interpolados para geração de uma superfície contínua através de Krigagem ordinária pelo modelo Gaussiano.

Para se mensurar o quantitativo de focos de calor em áreas florestais que estão próximos a áreas de desmatamento, utilizou-se os polígonos de desmatamento detectados pelo Projeto de Monitoramento do Desmatamento da Amazônia por Satélite (PRODES - <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>). No ArcGis 10.2 foram gerados buffers em torno das áreas desmatadas com distâncias de 1, 2, 3 e 4 km. Este procedimento foi realizado para todos os anos e o número de focos de calor para cada classe de distância foi quantificado através da ferramenta Clip. Finalmente, realizou-se uma análise de correlação entre proximidade de área desmatada e número de focos de calor.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos números de focos de calor detectados no estado do Acre, no período de 2004 a 2010, demonstra que eles apresentam um padrão sazonal bem definido, com uma maior concentração de focos de calor entre os meses de julho a outubro (Figura 2A).

Apesar dos menores índices de precipitação média ocorrerem nos meses de junho e julho (Figura 2B), o pico dos focos de calor só ocorre em setembro.

Segundo Zeng et al. (2008) isso ocorre porque a Floresta Amazônica ainda se mantém úmida durante os primeiros meses de estiagem, no entanto, posteriormente ela começa a entrar em estado de estresse e, conseqüentemente fica mais susceptível ao fogo.

De forma geral, em anos onde ocorrem anomalias negativas de precipitação (SPI moderadamente seco, muito seco e extremamente seco), observa-se um aumento

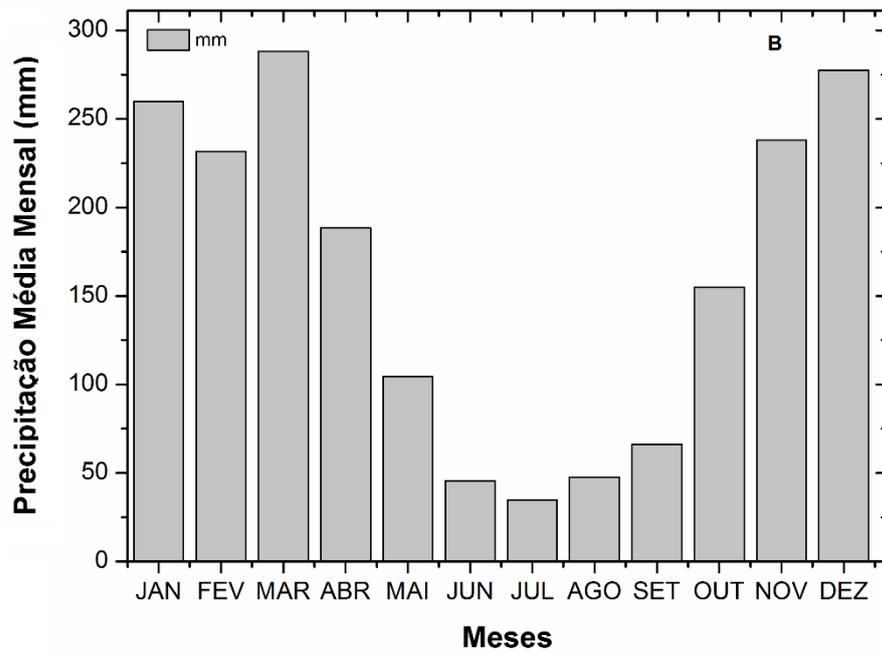
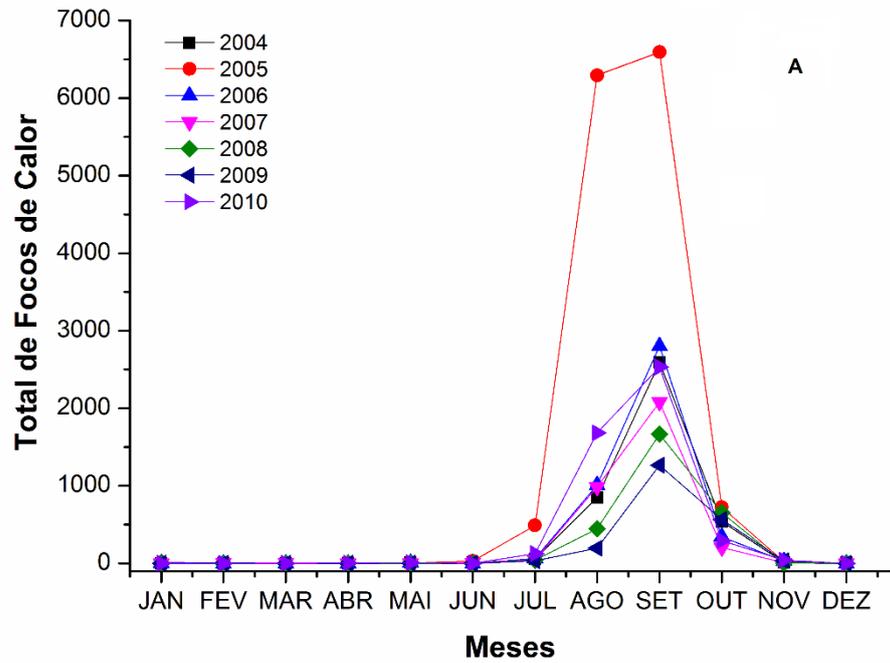
considerável do número de focos de calor, conforme verificado nos anos de 2005 (Figura 3B) e 2010 (Figura 3G), anos com maior quantitativo de focos de calor no período analisado.

No entanto, é importante ressaltar que estas anomalias não se distribuem uniformemente pelo estado, sendo que, inclusive, ocorreram anomalias positivas de precipitação (moderadamente úmido) em algumas regiões.

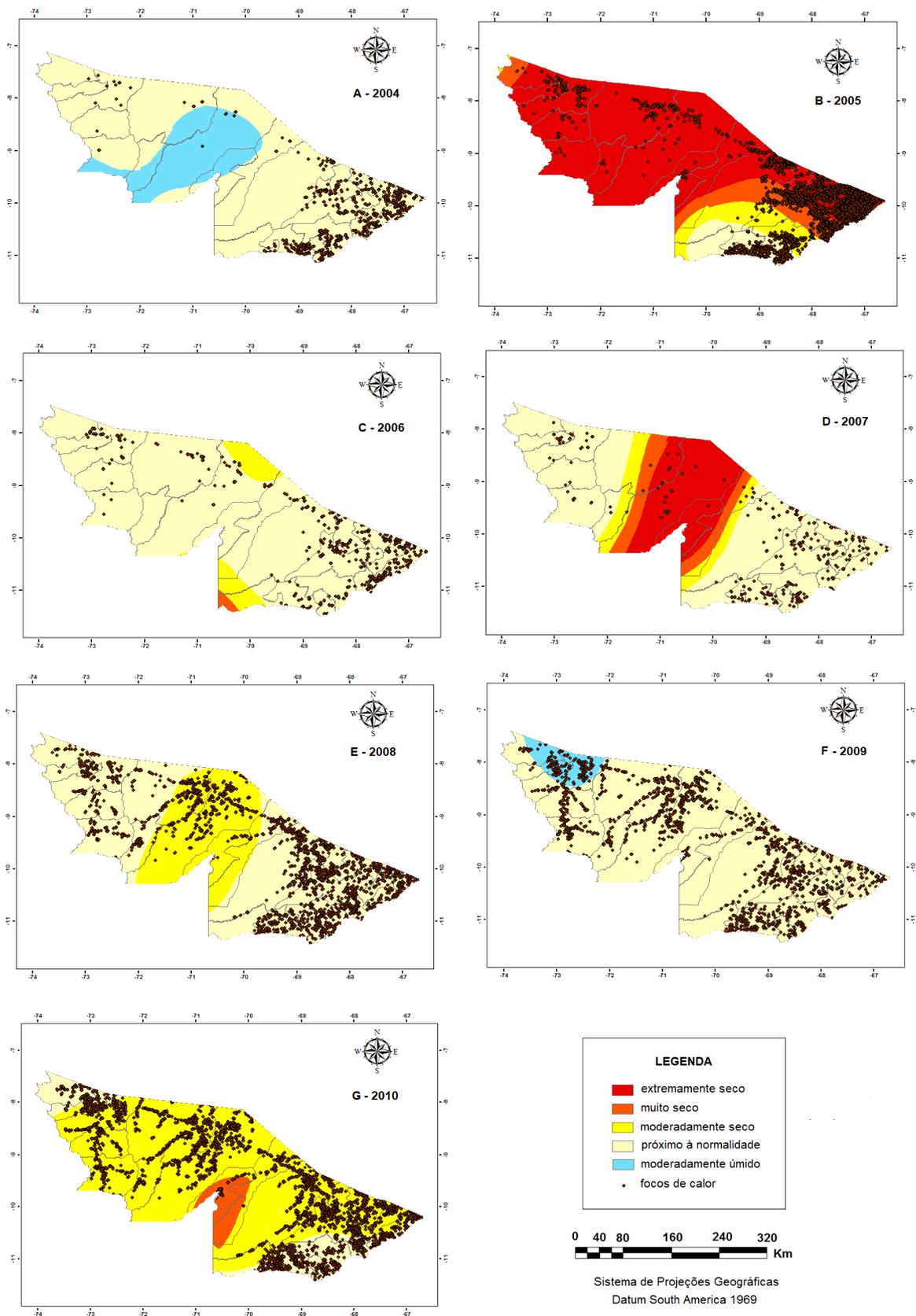
No ano de 2004 (Figura 3A), o padrão de precipitação esteve próximo à normalidade na maior parte do estado, apenas a região central apresentou uma anomalia positiva, classificada como moderadamente úmido. Apesar de o padrão normal ter se estendido por grande parte do Acre, os focos de calor estavam concentrados principalmente na porção leste do estado, região onde existe a maior densidade demográfica, segundo o Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2014).

Em 2005 (Figura 3B), ano com as maiores anomalias negativas de precipitação, grande parte do estado foi classificada pelo SPI como extremamente seca, porém algumas áreas da porção leste foram classificadas como muito seca e moderadamente seca, e parte da porção sudeste foi classificada como dentro da normalidade.

Neste ano, o quantitativo de focos aumentou consideravelmente, mas a sua distribuição espacial manteve-se relativamente constante. Ora, se a questão meteorológica tivesse maior peso na distribuição dos focos de calor, era para grande parte do estado apresentar uma alta densidade de focos, porém isso não foi observado. Pelo contrário, eles tenderam a se concentrar nas proximidades daqueles locais onde ocorreram no ano de 2004 (ano onde a precipitação esteve dentro da normalidade)



**Figura 2 A.** Distribuição mensal do número de focos de calor detectados pelos satélites de referência. Fonte: BDQueimadas (2014). **2 B.** Distribuição da precipitação média (mm) no Acre, entre 2004 e 2010. Fonte: GPCC.



**Figura 3.** Espacialização do índice SPI (julho a setembro) juntamente com os focos de calor detectados pelos satélites referência do respectivo ano.

Finalmente, verificou-se também que, nas porções sudeste e leste do estado, onde as anomalias de precipitação foram menos severas que nas outras regiões, foi

detectada uma alta densidade de focos.

Nos anos de 2006 (Figura 3C) e 2007 (Figura 3D), o padrão espacial se manteve, e a precipitação esteve próxima à normalidade na maior parte do estado. Neste último ano, observou-se que apenas a parte central do estado apresentou uma anomalia de precipitação classificada como extremamente seca, no entanto, isso não se traduziu num aumento significativo do número de focos nesta região.

No ano de 2008 (Figura 3E), a região central continuou com anomalias negativas de precipitação, inferiores ao ano anterior, mas ainda existentes. Neste ano, no entanto, o número de focos aumentou muito nesta área em relação aos anos anteriores. Acredita-se que isso possa ter ocorrido, dentro outros fatores, pelo intenso estresse sofrido pela vegetação que passou por dois anos de estiagem, o que a deixou mais vulnerável à ocorrência de incêndios (HOFFMANN *et al.*, 2003; NEPSTAD *et al.*, 2004; ARAGÃO *et al.*, 2007, COCHRANE, 2009).

Dentro do período analisado, foi a primeira vez que essa região apresentou um alto número de focos de calor, característica que se manterá nos anos posteriores. Isso decorre porque a ocorrência de fogo se retroalimenta, ou seja, uma floresta queimada em um ano estará muito mais susceptível à propagação de fogo no ano seguinte (COCHRANE, 2003). Além disso, quando a floresta é queimada para ser convertida em pastagem ou lavoura, possivelmente a área será queimada novamente no ano seguinte para limpeza do terreno.

Esse padrão espacial de focos observado no ano de 2008 se mantém nos anos de 2009 (Figura 3F) e 2010 (Figura 3G). Tal padrão visualmente parece coincidir com os eixos rodoviários e com a proximidade de alguns rios, locais onde existe um maior povoamento.

Da série analisada, 2010 foi o ano com o segundo maior número de focos, perdendo apenas para 2005. Pelos mapas de SPI, observa-se que assim como 2005, as anomalias negativas de precipitação se distribuíram por quase todo o estado, embora numa intensidade mais leve, classificada como moderadamente seca.

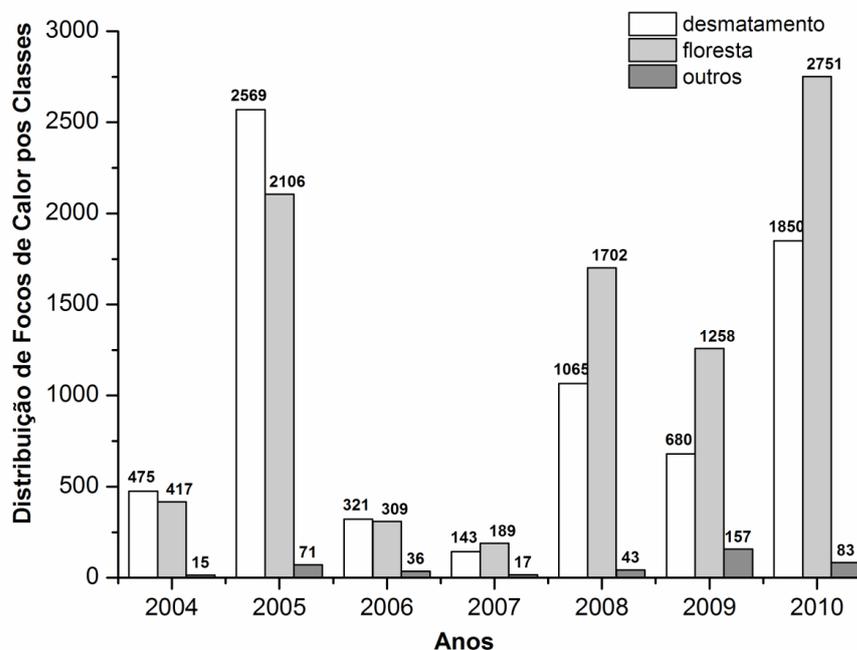
De acordo com Marengo *et al.* (2011), as anomalias negativas de precipitação de 2005 e 2010 foram provocadas devido à ocorrência de um Gradiente Inter-Hemisférico do Atlântico positivo. Segundo esses autores, o aumento da TSM no Atlântico Norte gerou um sistema de baixa pressão sobre esta região oceânica, o que alterou o padrão dos ventos e intensificou os movimentos descendentes sobre algumas regiões da Amazônia (MARENGO *et al.* 2011).

Essa situação resultou numa diminuição das chuvas na região, o que favoreceu o aumento do número de focos de calor. No entanto, apesar desse cenário, em 2010 a distribuição espacial dos focos foi mantida igual aos anos anteriores, inclusive com muitos focos sendo observados nas porções sudeste e leste, locais com precipitação próxima à normalidade.

O padrão espacial de distribuição dos focos de calor pode ser melhor compreendido, quando se analisa em qual tipo de cobertura eles ocorrem com mais

frequência.

Embora a maior parte dos focos seja detectada em florestas, uma importante parcela ocorre em áreas já desmatadas, onde a queimada é utilizada como prática agrosilvopastoril. Neste sentido, destacam-se os anos de 2004 e 2005, cujos números de focos em áreas desmatadas foram superiores aqueles que ocorreram em áreas de florestas. (Figura 4).



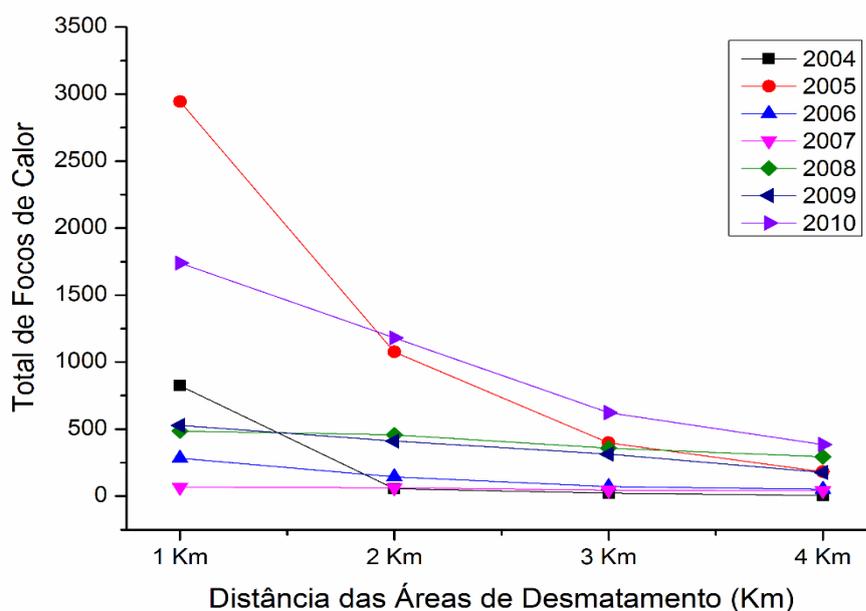
**Figura 4.** Distribuição dos focos de calor por classes desmatamento, floresta e outros no período de 2004 a 2010. Fonte: BDQueimadas (2014) e PRODES(2014)

Diversos estudos, como, por exemplo, Cochrane and Laurance (2002); Aragão *et al.*(2007) e Soares Filho *et al.*(2012) afirmam que os focos de calor concentram-se principalmente próximo às áreas já desmatadas. O presente trabalho vai ao encontro destas pesquisas, pois em todos os anos analisados observou-se uma forte correlação entre estas variáveis; conforme a Tabela 2.

Assim, verificou-se que quanto maior a distância das áreas desmatadas ocorre um decréscimo do número de focos de calor no estado do Acre (Figura 5).

Ano	r	Ano	r
2004	0.8	2008	0.98
2005	0.92	2009	0.99
2006	0.94	2010	0.98
2007	0.96		

**Tabela 2.** Correlação entre proximidade de áreas desmatadas e úmero de focos de calor, considerando-se classes de 1 a 4 km de distância



**Figura 5.** Relação entre o número de focos de calor e a proximidade de áreas desmatadas identificadas pelo PRODES no período de 2004 a 2010.

O resultado obtido pode ser explicado porque, muitas vezes, as queimadas utilizadas como técnicas agrícolas, saem do controle e atingem as florestas do entorno, transformando-se em incêndios florestais. Além disso, devido ao efeito de borda dos fragmentos, a vegetação recebe maior quantidade de vento e insolação, tornando-se menos úmida, o que aumenta a sua inflamabilidade (COCHRANE and LAURANCE, 2002).

#### 4 | CONCLUSÕES

No estado do Acre as anomalias negativas de precipitação favorecem um aumento do número de focos de calor. Nesse sentido, o entendimento dos padrões climáticos que favorecem eventos extremos permitem compreender a magnitude e a severidade dos incêndios florestais.

No entanto, tais anomalias não estão necessariamente relacionadas ao padrão espacial dos focos de calor no estado. Possivelmente, este último está mais relacionado ao uso e ocupação do solo, tais como a proximidade de áreas já desmatadas.

Sendo assim, para uma compreensão mais profunda sobre os padrões temporais e espaciais dos focos de calor é necessária a realização de estudos que analisem os efeitos sinérgicos entre as anomalias de precipitação e fatores antrópicos. Isso porque, ainda que haja condições meteorológicas favoráveis à propagação do fogo, é o homem que provoca o início da combustão.

## REFERÊNCIAS

- ARAGÃO, L.E.O.C.; MALHI, Y.; BARBIER, N.; LIMA, A.; SHIMABUKURO, Y.E.; ANDERSON, L.O. AND SAATCHI, S. Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. **Phil. Trans. R. Soc.**, v.363, p.1779-1785, 2008.
- ARAGAO, L.E.O.C.; MALHI, Y.; ROMAN-CUESTA, R.M.; SAATCHI, S.; ANDERSON, L.O.; SHIMABUKURO, Y. E. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. **Geophys. Res. Lett.**, v. 34, L07701, 2007.
- BROWN, I.F.; SCHROEDER, W.; SETZER, A; DE LOS RIOSMALDONADO, M; PANTOJA, N.; DUARTE, A.; MARENGO, J.A. Monitoring Fires in Southwestern Amazonia Rain Forests. **Eos, Transactions, American Geophysical Union**, v. 87, n. 26, p.253-264, 2006.
- COCHRANE, M. A. and BARBER, C. P. Climate change, human land use and future fires in the Amazon. **Global Change Biology**, v. 15, p.601-612, 2009
- COCHRANE, M. and LAURANCE, W. F. Fire as a large-scale edge effect in Amazonia forests. **Journal of Tropical Ecology**, v. 18, p.311-325, 2002.
- COCHRANE, M. A. Fire science for rainforest. **Nature**, v. 421, p. 913-919, 2003.
- COCHRANE, M. A. Forest fire, deforestation and landcover change in the Brazilian Amazon. **The Joint Fire Science Conference and Workshop**, 2009
- GLOBAL PRECIPITATION CLIMATOLOGY CENTRE - GPCC 1.0 x 1.0 Monthly Precipitation Totals. Disponível em: < <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.gpcc.html>>. Acesso em 25/04/14.
- HOFFMAN, W. A.; SCHROEDER, W. and JACKSON R. B. Regional feedbacks among fire, climate, and tropical deforestation. **J. Geophys. Res.**, v.108, n D23, 4721, 2003.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2010. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/censodemografico>> Acesso em: 02 fev 2014.
- INPE- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. BDQueimadas – Banco de Dados de Queimadas. DPI/INPE. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas>>. Acesso em: 01 fev. 2014.
- INPE- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Programa de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia por Satélite. Disponível em:< <http://www.obt.inpe.br/prodes/dados/> > Acesso em 10 de fevereiro de 2014.
- MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R. AND RODRIGUEZ, D. A. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region, **Geophys. Res. Lett.**,v. 38, n.12, L12703, 2011.
- MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to the time scales. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 8., 1993, Anhaeim, CA. Proceedings. Boston: **American Meteorological Society**, p. 179-184, 1993.
- NEPSTAD, D.; LEFEBVRE, P.; LOPES DA SILVA, U; TOMASELLA, J.; SCHLESINGER, P.; SOLÓRZANO, L; MOUTINHO, P; RAY, D., AND GUERREIRA BENITO, J. Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: A basin-wide analysis, **Global Change Biol.**, v.10, n.5, 704–717, 2004.
- SOARES-FILHO, B.; SILVESTRINI, R.; NEPSTAD, D.; BRANDO, P.; RODRIGUES, H.; ALENCAR, A.;

COE, M.; LOCKS, C.; LIMA, L.; HISSA, L.; STICKLER, C. Forest fragmentation, climate change and understory fire regimes on the Amazonian landscapes of the Xingu headwaters. **Landscape Ecology**, v. 27, n.4, p.585 - 598, 2012.

YOON, J. H., AND N. ZENG. An Atlantic influence on Amazon rainfall, **Clim. Dyn.**, v. 34, n(2-3), p.249-264, 2010.

ZENG, N.; YOON, J. H.;, MARENGO J. A.; SUBRAMANIAM, A.; NOBRE, C. A.; MARIOTTI, A. AND NEELIN, J. D. Causes and impacts of the 2005 Amazon drought. **Environ. Res. Lett.**, v.3, n.1, 014002, 2008.

## ADEQUAÇÃO DE BANCO DE DADOS E UTILIZAÇÃO DE ATRIBUTO DE HIERARQUIA NA GERAÇÃO DE ROTAS ÓTIMAS PARA O ESCOAMENTO DA PRODUÇÃO FLORESTAL

**Júlia Vaz Tostes Miluzzi de Oliveira**

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
– UEMS  
Cassilândia - MS

**Pedro Sepulveda Neto**

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul –  
UEMS  
Cassilândia - MS

**Charles Marques de Souza**

Universidade Federal de Lavras – UFLA/DCF  
Lavras - MG

**Fausto Weimar Acerbi Junior**

Universidade Federal de Lavras – UFLA/DCF  
Lavras - MG

**RESUMO:** A criação e/ou adaptação de um banco de dados para utilização em uma análise de rede requer cuidado especial com a topologia dos elementos para que a geração das rotas seja efetivamente otimizada. Esse processo leva tempo e deve ser feito manualmente. O objetivo deste estudo foi identificar os impedimentos ao uso de um analista de rede com concomitante adequação das linhas de estradas, tanto do ponto de vista topológico quanto do espacial, para geração de rotas ótimas entre as fontes de matéria-prima e unidades de beneficiamento da KLABIN S.A., unidade de Santa Catarina. Também foram geradas instruções de direção para maior segurança e orientação dos

motoristas. A fase de preparação do banco de dados identificou entraves e peculiaridades para o uso da extensão e permitiu a exclusão de linhas inexistentes e criação das linhas ainda não mapeadas. As instruções de direção foram geradas corretamente, comprovando que a modelagem dos atributos foi realizada com sucesso. As rotas geradas para os atributos Distância e Tempo foram, de fato, as rotas ótimas tanto com a simulação de barreiras quanto sem essa simulação. As informações geradas podem ser mais refinadas e confiáveis, de acordo com o nível de precisão espacial das linhas que compõem as formas e o tipo de informação no banco de dados.

**PALAVRAS-CHAVE:** network analyst, adequação de banco de dados, topologia, colheita florestal, otimização de rotas.

**ABSTRACT:** The creation and/or adaptation of a database to be used in a network analysis needs a special care with the topology of the elements for this network becomes in fact optimized. This process takes time and must be done manually. The objective of this study was to identify the impediments of the use of a network analyst with concomitant suitability of the roads lines, both from the topological point of view as well as from the spatial, for generation of optimal routes between the sources of raw materials and packing units of KLABIN S.A., Santa Catarina's

unit. We also as generating driving instructions for major safety and guidance of the drivers. The database preparation phase identified obstacles and peculiarities for the use of the extension and allowed the exclusion of non-existent lines and the creation of the lines still unmapped. The driving instructions were generated correctly, stating the modeling of the attributes was done correctly. The routes generated for the Distance and Time attributes were satisfactory for both, with and without the use of simulated barriers. The information generated can be more refined and reliable according to the spatial accuracy level of the lines that make up the shapes and the type of information in the database.

**KEYWORDS:** network analyst, database adequacy, topology, forest harvesting, route optimization.

## 1 | INTRODUÇÃO

O planejamento do transporte objetiva um transporte rápido e eficiente, com a máxima utilização dos recursos disponíveis (MACHADO, 2011). Souza (2004) relatou que para uma mesma distância de transporte, quanto menor for o valor do produto florestal, maior será a importância do transporte no custo final do produto. O transporte representa até 40% do custo total da madeira para as indústrias de celulose e até 25% para as indústrias de madeira serrada. A colheita e o transporte representam, em média, de 60% a 70% dos custos da madeira colocada no pátio das fábricas, respectivamente.

Um dos métodos mais eficientes e utilizados atualmente, como ferramenta para o planejamento e tomada de decisões é o SIG (Sistema de Informação Geográfica). As empresas que utilizam os SIG's reconhecem que a habilidade de entender e manejar os recursos florestais pode ser consideravelmente melhorada (COUTO, 1993).

Exemplos de aplicação do SIG no transporte florestal podem ser vistos em vários estudos. Barddal (1994) utilizou um SIG para elaborar projetos de estradas, reformulando os traçados existentes para otimizar o transporte de madeira. Motta et al. (1996) demonstraram a viabilidade dos SIG's e da distância virtual na determinação da rota ótima de transporte florestal rodoviário. Venturi (2000) utilizou um SIG para planejar a manutenção da malha rodoviária, enquanto Weber et al. (2003) o utilizou para a avaliação de opções de traçado da estrada a ser pavimentada, considerando o uso do solo e altimetria do terreno como subsídios para simulações e tomada de decisão.

O uso de redes para a medição de distâncias fornece resultados mais precisos para análises do que quando usadas distâncias em linha reta. Uma rede é um sistema de elementos interconectados, como linhas e pontos, que representam possíveis rotas de um local para outro, armazenando a conectividade entre as características de origem (ESRI, 2014).

Para Burrough (1989), a criação da base de dados é a etapa mais importante

no processo de qualquer análise em um SIG, e cabe salientar que a qualidade dos dados originais e a precisão da técnica são fatores que irão determinar o nível de confiabilidade nos resultados finais do trabalho.

Na otimização do transporte, a roteirização é uma das ferramentas disponíveis em alguns SIG's. Roteirização é o processo de criação de um ou mais roteiros ou sequências de paradas a serem cumpridos, com o objetivo de visitar um conjunto de pontos distintos geograficamente e pré-determinados. Segundo Hoffmann et. al. (2009), problemas de roteirização podem ser definidos como problema de um caixeiro viajante e consiste em encontrar o roteiro ou sequência de cidades a serem visitadas, minimizando a distância total percorrida, e assegurando que cada cidade seja visitada exatamente uma vez.

Como um subproblema do problema do caixeiro viajante, temos o problema do menor caminho, mas na otimização do transporte, os melhores caminhos não necessariamente representam os caminhos de menores distâncias, podem ser caminhos de tempos mínimos, custos mínimos, entre outras formas que se deseja medir um percurso.

Assim, o objetivo do trabalho foi a identificação de entraves para a utilização de uma ferramenta de análise de redes, e a criação e avaliação de uma base de dados confiável do ponto de vista topológico, para utilização nesse analista de rede, com o fim de geração de rotas ótimas entre as fontes de matéria prima e as unidades beneficiadoras da empresa KLABIN S.A., unidade de Santa Catarina.

## **2 | METODOLOGIA DE TRABALHO**

### **2.1 Área de Estudo**

Esse estudo foi desenvolvido utilizando o banco de dados das fazendas da empresa KLABIN S.A., situadas nos municípios de Correia Pinto e São José do Cerrito, ambos situados no estado de Santa Catarina (Figura 1).

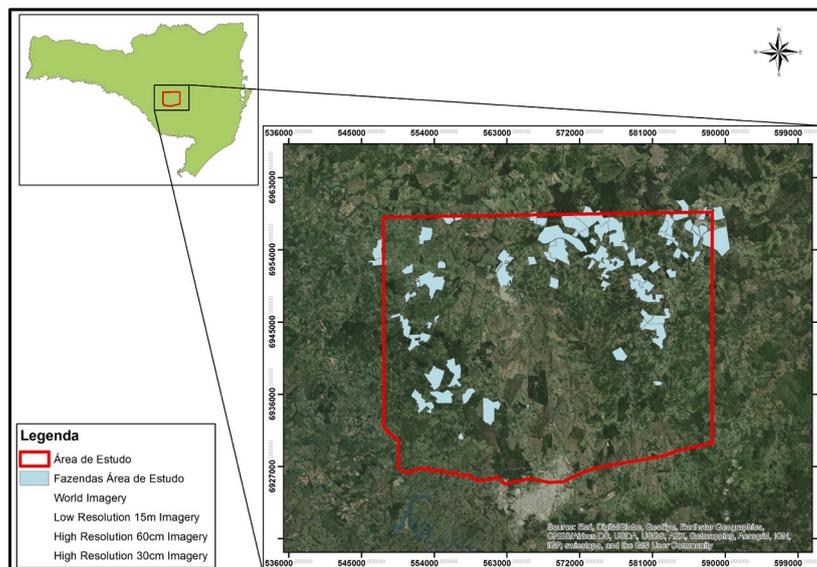


Figura 1. Localização da área de estudo.

A região tem um relevo com média de elevação de 1.000 metros acima do nível do mar, formando um “degrau” entre o Alto Rio Itajaí e o Planalto dos Campos Gerais. De acordo com a classificação de Köppen (1948), o clima da região é mesotérmico subtropical úmido- Cfb, com verões frescos, cujas temperaturas médias dos meses mais quentes são inferiores a 22°C, sem estação seca e invernos com geadas severas e frequentes.

## 2.2 Base de Dados

As atividades foram desenvolvidas no software ArcGIS 10.3, na extensão *Network Analyst*, utilizando o solucionador *Best Route*. A conferência das linhas de estradas foi feita utilizando o *Google Earth* e o *World Imagery* do ArcGIS online.

Para a estruturação da base de dados do trabalho, foram utilizados diferentes arquivos no formato shapefile: 4 exportados da base de dados da KLABIN S.A (Estradas municipais, Estradas Federais, Linhas Fazendas e Estradas Logística) e 1 do órgão oficial do Departamento Estadual de Infraestrutura - DEINFRA.

O primeiro passo para que os shapes pudessem ser usados conjuntamente foi a padronização do sistema de coordenadas dos mesmos. Para isso todos os shapes foram reprojetoados para o sistema de coordenadas padrão adotado pela empresa, o SIRGAS 2000 (Zona UTM 22 S).

Pela utilização de diferentes shapes, houve sobreposição das linhas coincidentes. Essas linhas tinham diferentes níveis de precisão espacial. Nesse momento, a conferência dessas linhas se baseou nas imagens do *World Imagery*, permanecendo na base de dados a que apresentasse maior precisão espacial. Esse procedimento foi inteiramente manual devido a necessidade de análise criteriosa.

Houve um cuidado especial com o campo referente à pavimentação, por que

o mesmo tem influência direta nos resultados, já que a velocidade média da via, para esse trabalho, depende do tipo de pavimentação. Algumas linhas dos arquivos shapefile utilizados não apresentavam essa informação, dessa forma a via não seria selecionada como parte da rota, se a impedância escolhida levasse em consideração um atributo de tempo ou de hierarquia. Assim, foi necessário atribuir essa informação aos campos onde não havia. Como forma de corrigir tal erro, foi feita a conferência com as linhas dos outros arquivos shapefile da seguinte forma: se na linha selecionada não constasse a informação de pavimentação, era procurado nas outras linhas coincidentes, vindas dos outros arquivos shapefile, e atualizado no arquivo da linha da base de dados do trabalho. Se não houvesse linhas coincidentes ou se não houvesse a informação em nenhuma das linhas, a linha era exportada para o *Google Earth* para confirmação do tipo de pavimentação.

### 2.3 Correção da Topologia dos elementos Vetoriais

A rede de estradas criada foi a base para que mais adiante o solucionador *Best Route* pudesse analisar e gerar resultados, e por este motivo a mesma deve ser modelada de acordo com os padrões de topologia, a fim de garantir a conectividade das feições, conhecidas por edges e junctions, e conseqüentemente a integridade dos resultados. Os edges são as linhas que conectam os elementos e fazem a junção das viagens. Os junctions são os pontos que conectam os edges uns aos outros, permitindo a transposição de uma linha para a outra. Estes dois elementos são básicos de qualquer estrutura de rede. A adequação dos elementos ao padrão de topologia é feita através da aplicação de regras topológicas.

As regras topológicas utilizadas para a correção foram: Must not intersect, Must not overlap, Must not intersect or touch interior, Must not self overlap, Must not self intersect, Must be single part, Must not have dangles e Must not have pseudo nodes.

Todos os erros do tipo 'Must not intersect' puderam ser corrigidos pela ferramenta '*Split*', que divide as linhas que se cruzam no ponto de interseção.

Todos os erros do tipo 'Must not have pseudo nodes' foram corrigidos pela ferramenta '*Merge to largest*', que funde duas linhas. Mas quando duas linhas são fundidas, a linha menor perde os seus atributos, passando a ter os mesmos atributos da maior. Isso ocasiona perda de informação se as linhas fundidas não tiverem, por exemplo, a mesma pavimentação. Por isso é tão importante a conferência do tipo de pavimentação das linhas antes da etapa de exclusão e adequação propriamente dita do banco de dados.

Os erros do tipo 'Must not intersect or touch interior' podem ser corrigidos com as ferramentas '*Split*' e '*Subtract*'. O '*Subtract*' remove as linhas duplicadas e/ou sobrepostas.

Todos os erros do tipo 'Must not self overlap' e 'Must not self intersect' foram corrigidos pela ferramenta '*Simplify*', que remove a sobreposição da linha do recurso

em erro.

Todos os erros do tipo 'Must be single part' foram corrigidos pela ferramenta 'Explode' que cria linhas únicas a partir de linhas com partes múltiplas.

Os erros corrigidos com as ferramentas 'Subtract' e 'Simplify' foram corrigidos caso a caso, já que foi necessário escolher qual linha seria subtraída ou simplificada. Os erros do tipo 'Must not have dangles' foram os erros mais numerosos e com correção mais demorada, pois tiveram que ser reparados um a um. A correção teve de ser feita caso a caso por que esse tipo de erro pode ter sido fruto de duas linhas que deveriam estar conectadas, mas não estavam, ou poderiam indicar um ponto final. Quando não estavam conectadas, a conexão foi feita manualmente e caso se tratasse de um ponto final, o erro foi marcado como exceção, já que um ponto final não pode ser considerado um erro se realmente indicar o final de alguma via.

Os erros do tipo 'Must not have pseudo nodes' foram os últimos erros a serem corrigidos, pois grande parte das correções de topologia criam pseudo nós nas linhas. Assim, ao corrigir esses erros por último, garantimos que não fossem gerados mais erros desse tipo.

Muitas correções de topologia geram outros erros, como por exemplo, um pseudo nó gerado a partir de duas linhas não conectadas. Por isso, após a correção de todos os erros a Topologia foi validada e os erros conferidos novamente até que não houvesse nenhum erro restante.

Paralelamente ao processo de correção da topologia, foi realizado o processo de adequação espacial das linhas que não estavam espacialmente condizentes com as imagens do *World Imagery* (ArcGIS Online), mapeamento das linhas não existentes e exclusão das que constavam na base de dados porém não mais existiam.

## 2.4 Criação da Network Dataset

O tráfego que ocorre sobre a rede é controlado pelos atributos de redes. É no momento da configuração destes atributos que a *Network Dataset* é modelada. O uso padrão de cada atributo define qual atributo será utilizado como principal. Atributos de Hierarquia não podem ser utilizados como principais para geração das rotas, sendo utilizados como secundários, servindo de desempate entre duas vias que poderão compor uma rota, por exemplo.

Os atributos trabalhados foram: Tempo, Distância e Hierarquia. Tempo e Distância são do tipo 'Cust', ou seja, tem um tipo de uso referente aos custos, já o atributo Hierarquia não. O atributo Distância veio da tabela de atributos, sendo o comprimento total de cada via. O atributo Hierarquia também veio da tabela e está relacionado com o tipo de pavimentação. Foi criada uma coluna na tabela de atributos classificando a preferência de pavimentação: Asfalto- 1, Cascalho- 2 e Terra- 3. Assim, seriam priorizadas as vias Asfaltadas, em seguida as cascalhadas e por último as de terra. Para o tempo, através da Equação 1, criou-se uma coluna na tabela de atributos com

o tempo necessário para transpor cada trecho da estrada.

$$T = \frac{L}{\frac{V * 1000}{60}} \quad (1)$$

Onde T é o Tempo (min), L é o Comprimento da via (m) e V é a Velocidade média da via (km/h).

Foi criada uma coluna na tabela de atributos para a velocidade média que variou de acordo com a pavimentação. Como regra geral, na KLABIN S.A. adota-se: Asfalto- 80 km/h, Cascalho- 50 km/h e Terra- 30 km/h.

## 2.5 Solucionador Route

Para testar a *Network Dataset*, foram realizados testes para avaliar a eficiência do solucionador. O objetivo era sair da fábrica de Correia Pinto e chegar a Fazenda Cerro Pelado V.

Para testar o atributo Distância, foi criada uma série de rotas. A primeira rota gerada foi a rota ótima e a partir dela, foram geradas mais 2 rotas utilizando barreiras que impediram o trânsito na via onde foi alocada. O teste para o atributo Tempo foi feito da mesma forma. As barreiras nos dois testes foram colocadas aleatoriamente para testar a *Network Dataset*.

Usando Hierarquia, é utilizada uma heurística que favorece o tráfego nos níveis mais altos. O objetivo do solucionador continua sendo minimizar a impedância, mas favorecendo a ordem superior de Hierarquia. O teste do atributo Hierarquia consistiu na geração de rotas ótimas para os atributos Distância e Tempo, com e sem a utilização do atributo Hierarquia como secundário.

A geração das instruções de direção também foi feita na etapa de configuração do solucionador. O roteiro gerado é mais uma ferramenta que auxilia a orientação do condutor.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A adequação à topologia e a correção das linhas é um processo demorado, e em grande parte impossível de operacionalizar devido à necessidade de análise criteriosa e comparação com imagens de satélite. É impossível corrigir todas as linhas, do ponto de vista da precisão espacial. Novas estradas são abertas frequentemente e estradas já existentes desaparecem pela falta de uso e consequente crescimento da vegetação. Uma forma mais confiável para a atualização e consolidação da base de estradas, para que se possa operacionalizar as rotas geradas pelo *Network Analyst*, seria o levantamento a campo, contínuo e dinâmico.

### 3.1 Resultados dos testes

Os testes dos atributos mostraram que a topologia foi corrigida satisfatoriamente, pois foi possível a geração dos elementos Junctions e Edges, como ilustrado na Figura 2, e das rotas, como ilustrado nas Figuras 3, 4 e 5.

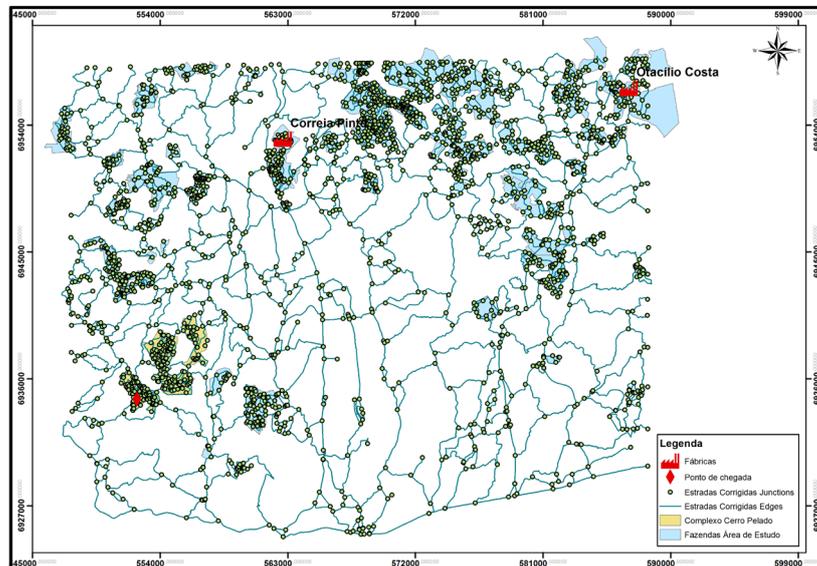


Figura 2. Network Dataset estruturada e pontos de início e fim das rotas.

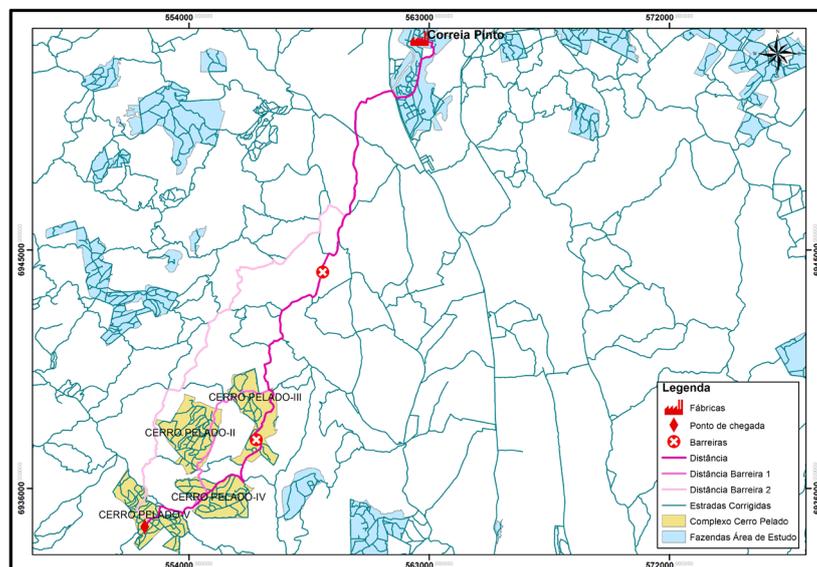


Figura 3. Rotas geradas baseadas no atributo Distância.

As rotas geradas sem barreiras nos testes dos atributos Distância e Tempo, foram as rotas ótimas: para o atributo distância (Figura 3), a menor rota foi a gerada sem barreira alguma e para o atributo Tempo (Figura 4) a rota mais rápida foi aquela gerada sem barreira. Os resultados indicaram que a *Network Dataset* foi modelada corretamente e os atributos estavam funcionando. A Tabela 1 mostra as informações

das rotas geradas a partir do atributo Distância e a Tabela 2 apresenta as informações das rotas geradas a partir do atributo Tempo.

As distâncias totais para o atributo Tempo foram maiores, mas com menores porcentagens de Terra. Isso era esperado, já que este atributo está diretamente relacionado a pavimentação, por ela influenciar na velocidade média de deslocamento que entra no cálculo do Tempo.

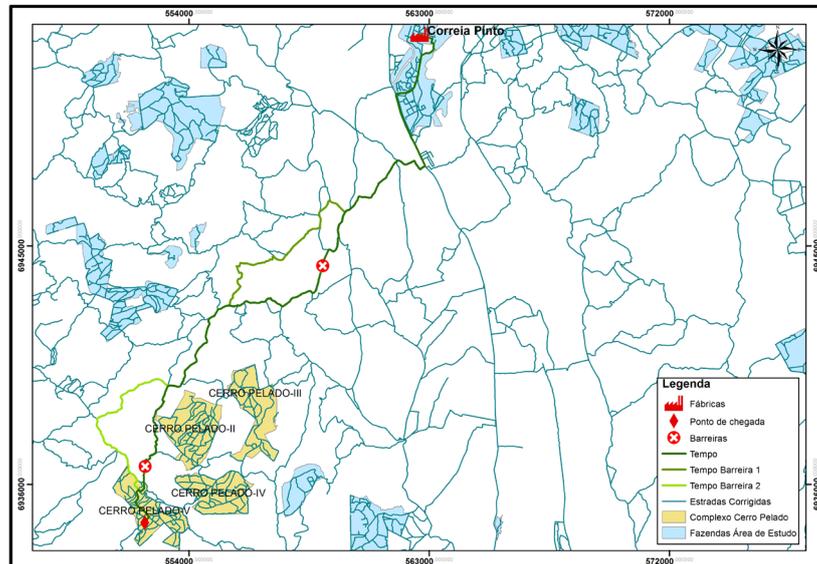


Figura 4. Rotas geradas com base no atributo Tempo.

Rota	Pavimentação	Distância (km)	Tempo (Min)
Distância	Asfalto	2,16	1,62
	Cascalho	14,24	17,18
	Terra	11,49	23,52
	Total	27,89	42,32
Distância Barreira 1	Asfalto	2,16	1,62
	Cascalho	15,74	18,88
	Terra	10,47	20,95
	Total	28,38	41,45
Distância Barreira 2	Asfalto	2,16	1,62
	Cascalho	24,43	29,31
	Terra	2,54	5,09
	Total	29,14	36,02

Tabela 1: Descrição de Distâncias e Tempos das rotas geradas com base no atributo Distância.

Rota	Pavimentação	Distância (km)	Tempo (Min)
Tempo	Asfalto	6,24	4,68
	Cascalho	21,12	25,35
	Terra	2,22	4,44
	Total	29,59	34,47
Tempo Barreira 1	Asfalto	6,24	4,68
	Cascalho	21,85	26,22
	Terra	2,22	4,44
	Total	30,31	35,34
Tempo Barreira 2	Asfalto	6,24	4,68
	Cascalho	22,11	26,54
	Terra	4,12	8,24
	Total	32,47	39,45

Tabela 2: Descrição de Distâncias e Tempos das rotas geradas com base no atributo Tempo.

Ao usarmos Hierarquia como atributo secundário, para as duas análises, como ilustrado na Figura 5, não foram geradas rotas diferentes das geradas quando não foi utilizando esse atributo como secundário. Isso mostra que o uso do atributo Hierarquia, para a *Network Dataset* estruturada, não produziu efeito algum e pode indicar que para esse tipo de estrutura de vias, tal atributo não produz diferença.

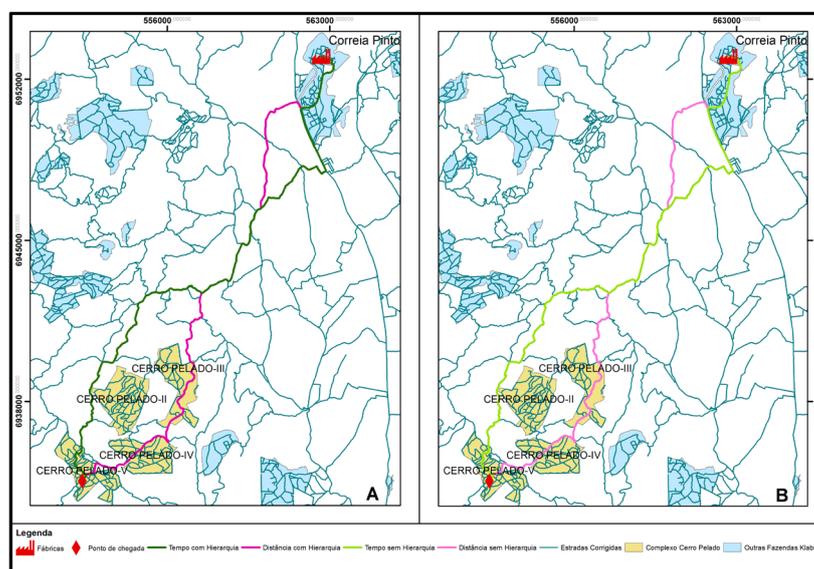


Figura 5. A) Rotas geradas com o atributo Hierarquia como secundário. B) Rotas geradas não utilizando o atributo Hierarquia como secundário.

O '*Directions*' de todas as rotas geradas (Figura 6) foi criado corretamente, podendo ser usado juntamente com a rota no campo para orientação do condutor, e também afirma o resultado que os atributos foram modelados corretamente e estavam funcionando.

Step	Description	Distance	Time	Map
1:	Start at Graphic Pick 1	29 km	35 min	Map
2:	Go east	516 m	< 1 min	Map
3:	Turn right	235 m	< 1 min	Map
4:	Turn right	2,7 km	2 min	Map
5:	Bear right on BR 116	223 m	< 1 min	Map
6:	Continue on Cascalhada	6,1 km	7 min	Map
7:	Turn right	761 m	< 1 min	Map
8:	Turn left	1,3 km	2 min	Map
9:	Make sharp right on Cascalhada	2,3 km	3 min	Map
10:	Turn left	3,6 km	4 min	Map
11:	Make sharp right	7,6 km	9 min	Map
12:	Turn right	1,5 km	2 min	Map
13:	Turn left	379 m	< 1 min	Map
14:	Make sharp right	98 m	< 1 min	Map
15:	Turn left	730 m	1 min	Map
16:	Turn right and immediately turn left	556 m	1 min	Map
17:	Turn right	274 m	< 1 min	Map
18:	Finish at Location 1, on the right			Map
Total time: 35 min				
Total distance: 29 km				

Figura 6. Directions gerado com informações dos atributos Distância e Tempo.

## 4 | CONCLUSÕES

A extensão *Network Analyst* se mostrou eficiente para o que foi proposto no trabalho, dependendo a confiabilidade e a complexidade dos resultados apenas do nível de qualidade e quantidade de informação existente na base de dados.

A aplicação da metodologia proposta é possível, mas o processo ainda permite melhorias, sendo necessário aprimorar o uso das ferramentas e equipamentos que possam diminuir o tempo de preparação dos dados e aumentar a confiabilidade nas linhas, assim como um estudo criterioso de informações que possam ser extraídas do processo.

É possível utilizar a metodologia proposta para a geração de rotas, mas os atributos utilizados do *Network Analyst* são muito básicos, necessitando de um maior entendimento da ligação com o frete e possível transformação do cálculo de frete em atributo da *Network Dataset*, possibilitando assim a geração de rotas ótimas baseadas diretamente no frete.

## REFERÊNCIAS

- BARDDAL, S. M. A. **Utilização do SIG na KLABIN.** In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 1. , Curitiba, 1994. Anais... Curitiba, 1994. p. 83-92.
- BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment.** 1989. 194 p. Monografia em Solos e Recursos Naturais. University of Oxford, Oxford, 1989.
- COUTO, H. T. Z. **Sistemas de informações geográficas: Aplicações Florestais.** IPEF Série Técnica, Piracicaba, v. 9, n. 28, 1993. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr28/cap01.pdf>>. Acesso em: 22 mai. 2018.
- ESRI. Disponível em: <<http://www.esri.com/software/arcgis>> Acesso em: 22 mai. 2018.
- HOFFMANN, E. H.; ZIMMERMANN, K. W.; BORTOLETO, S. **Sistema de roteirização urbana: Aplicação na saúde urbana,** 2009, Curitiba. Disponível em:<<http://www.aebi.com.br/>> Acesso: 22 mai. de 2018.

KOPPEN, W. **Climatologia**. México: Fundo de Cultura Econômica, 1948.

MACHADO, C. C.; LOPES, E. S.; BIRRO, M. H. B.; MACHADO, R. R. **Transporte Rodoviário Florestal**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2011. 217 p.

MOTTA, L. P.; MACHADO, C. C.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, J. C.; RIBEIRO, C. A. A. S. **Utilização do sistema de informações geográficas e da distância virtual na otimização do transporte florestal rodoviário**. Revista Árvore, Viçosa, v. 20, n. 3, p. 381-394, 1996.

SOUZA, D. O. **Algoritmos genéticos aplicados ao planejamento do transporte principal de madeira**. 2004, 184 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, 2004.

VENTURI, N. L. **GIS aplicado na área florestal**. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 4., Anais... Curitiba, 2000. p. 143-157.

WEBER, E.; HASENACK, H.; NODARI, F. A.; REICHMANN, N. C. **Análise de alternativas de traçado de uma estrada utilizando rotinas de apoio à decisão em SIG**. In: GIS BRASIL - CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO, 4., Anais... Curitiba, 1998.

## ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MÉTODOS DE GERAÇÃO DE MDT APLICADO AO PARQUE AMBIENTAL VITÓRIO PIASSA - PR

### **Gabriel Roldo Gomes**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Via do Conhecimento, Km 01 – Bairro Fraron, 85503-390, Pato Branco – PR, Brasil  
grg.1998@hotmail.com

### **João Henrique Ferrarini**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Via do Conhecimento, Km 01 – Bairro Fraron, 85503-390, Pato Branco – PR, Brasil  
jhferrarini@hotmail.com

### **Marcelle Luisa Calegari**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Via do Conhecimento, Km 01 – Bairro Fraron, 85503-390, Pato Branco – PR, Brasil  
marcelle.luisa65@gmail.com

### **Danielli Batistella**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Via do Conhecimento, Km 01 – Bairro Fraron, 85503-390, Pato Branco – PR, Brasil  
batistella@utfpr.edu.br

### **Priscila da Silva Victorino**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Via do Conhecimento, Km 01 – Bairro Fraron, 85503-390, Pato Branco – PR, Brasil  
pvictorino@utfpr.edu.br

**ABSTRACT** – The present work aims to compare different methods of generation of Digital Terrain Model (MDT) applied to Vitória Piassa Environmental Park, located in the municipality of Pato Branco - PR. These models were elaborated in the SAGA GIS program with planialtimetric survey data carried out by the City Hall through RTK (Real Time Kinematic) equipment, with equidistance between the 0.5m level curves in the WGS84 system. The rectangular regular ground interpolators denominated Inverse of the Distance Square were considered in the application, considering the weighted averages, the Ordinary (Global) Kriging that uses the spatial dependence between neighboring samples with minimum variance, and the Nearest Neighbor that maintains the values of Dimensions of the samples in the grid; And how unevenly the triangle Delaunay that preserved all the geomorphic features of the surface. The accuracy of the models was analyzed by the collection of control points obtained in the field with GPS (Global Position System) post-processed with Stop-and-Go method of 15 minutes per point. Differences in altitude were compared using the Inverse Distance Squares, Ordinary Kriging (Global) and Delaunay Triangulation interpolators, which presented lower Standard Deviation, with values 1.666 m, 1.667 m and 1.679 m respectively, when compared to The Nearest Neighbor who

got 1,814m.

**PALAVRAS-CHAVE:** Planialtimetric Data. Level Curves. Interpolators. Digital Terrain Models. Dados Planialtimétricos. Curvas de Nível. Interpoladores. Modelos Digitais de Terreno.

## 1 | INTRODUÇÃO

Segundo Câmara e Felgueiras (2001), os Modelos Numéricos de Terreno (MNT) consistem na representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre em determinada região da superfície terrestre. Comumente associados à altimetria, também podem ser utilizados para modelar unidades geológicas, como teor de minerais, ou propriedades do solo ou subsolo, como aeromagnetismo.

Tais modelos foram desenvolvidos há cerca de 60 anos nos EUA para apoio à automatização de projetos de vias de transporte e atualmente são empregados nos mais variados ramos da engenharia que se utilizam das informações sobre o relevo do terreno. Quando se fala em MDT (Modelo Digital do Terreno), deve-se considerar um modelo numérico da superfície do terreno, desconsiderando os elementos artificiais do mesmo, como vegetação, construções e outros. (Segantine e Silva, 2015).

O processo de geração de um MDT constitui-se de duas etapas:

- Amostragem: compreende a aquisição de amostras referentes ao fenômeno de interesse;
- Interpolação: envolve a criação de estruturas de dados e definição de superfícies de ajuste que possibilitem uma manipulação eficiente do modelo.

Nesse sentido, é possível realizar procedimentos de análise de diferentes Modelos Digitais de Terreno, que podem ser qualitativos, como a visualização tridimensional do modelo, bem como quantitativos, quando se trata de cálculos de volumes, áreas ou geração de mapas, por exemplo.

A área utilizada para estudo é o Parque Ambiental Vitório Piassa, com área total de 52.848,70 m<sup>2</sup>, pertencente ao município de Pato Branco – PR, como indica a Figura 1, do mapa de localização da região.

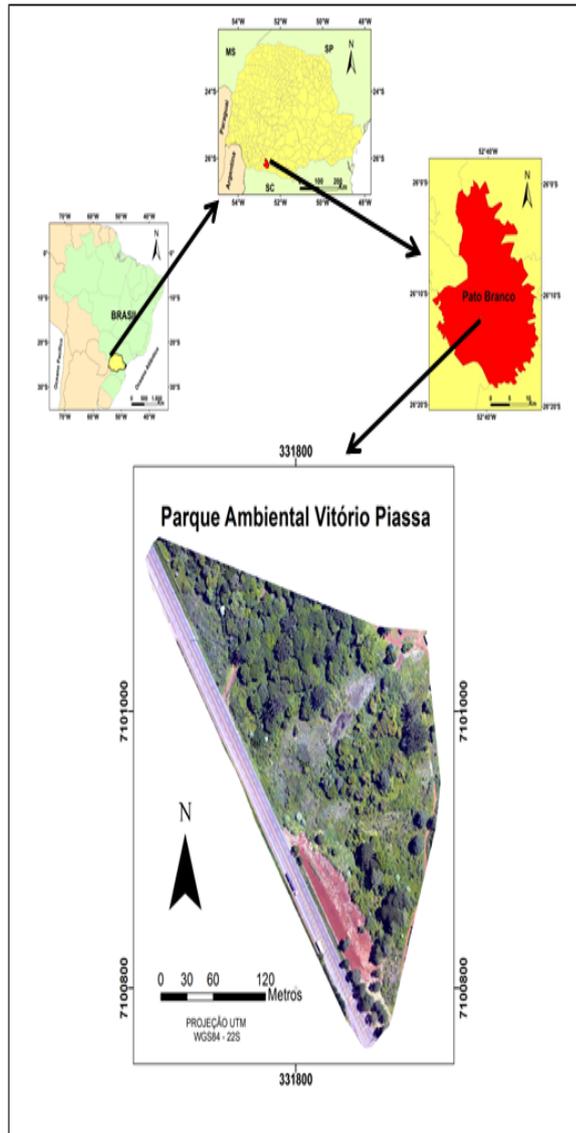


Figura 1. Localização da área de estudo.

Tal pesquisa objetiva a geração de diversos MDT's do Parque citado, verificando qual método de interpolação resulta em melhor representação da realidade.

## 2 | METODOLOGIA DE TRABALHO

O processo de amostragem compreende a aquisição de um conjunto de amostras que representam a variação de determinado fenômeno espacial. Para a coleta, por sua vez, deve-se levar em consideração fatores como quantidade e posicionamento das amostras conforme o fenômeno que se pretender modelar, visto que o cuidado na escolha dos pontos reflete diretamente na qualidade do produto final (Câmara e Felgueiras, 2001). Por exemplo, uma superamostragem altimétrica em um terreno

plano caracteriza redundância de informação, bem como a coleta de poucos pontos altimétricos em um terreno acidentado acaba por ser escassa de informação.

Os dados de MDT são representados em coordenadas tridimensionais (X, Y, Z). Já a posição das amostras, por sua vez, pode classificar a amostragem em diferentes categorias:

- Regular: posição espacial (X, Y) das amostras mantém regularidade em sua distribuição;
- Semi-regular: distribuição das amostras só ocorre de forma regular em uma das direções (X ou Y);
- Irregular: não há regularidade na distribuição das amostras.

Desse modo, a aquisição de dados pode ocorrer por pontos amostrados, obtidos na maioria dos casos através de levantamentos, ou por mapas de isolinhas, muito comuns em cartas topográficas, onde representam curvas de igual cota.

Para a modelagem de transformação dos dados que foram trabalhados, desde as curvas de nível até o MDT, inicialmente foram obtidos dados planialtimétricos da área do Parque Ambiental Vitório Piassa, na Prefeitura Municipal de Pato Branco, no sistema de referência WGS 84, projeção UTM fuso 22, com *datum* vertical de Imbituba.

Na realização do levantamento pela Secretaria de Planejamento Urbano, a Prefeitura Municipal dispôs de um par de receptores GPS Hiper V RTK, com precisão horizontal de  $\pm (3\text{mm} + 0,5\text{ppm})$  em levantamentos L1/L2 estático e estático rápido e  $\pm (10\text{mm} + 1\text{ppm})$  em levantamentos cinemáticos, um bastão de fibra de carbono e um tripé de metal. Os dados foram processados através do aplicativo computacional Topcon Link.

Após o processamento, a planta topográfica foi gerada com auxílio do software AutoCAD, bem como as curvas de nível, com equidistância de 0,5 metros.

Para definir o melhor método na elaboração de um MDT que representasse com maior fidelidade o terreno estudado, foram utilizados interpoladores baseados em grades regulares retangulares e grades irregulares triangulares.

As interpolações de grades regulares retangulares foram:

- Vizinheiro mais próximo: definida pela escolha de apenas uma amostra vizinha para cada ponto da grade. Este interpolador deve ser usado quando se deseja manter os valores de cotas das amostras na grade, sem gerar valores intermediários (Câmara e Felgueiras, 2001);
- Inverso do Quadrado da Distância (IQD): é um interpolador determinístico univariado de médias ponderadas, é considerado simples e de fácil aplicação, todavia, menos acurado que a Krigagem, uma vez que não considera o padrão da estrutura da dependência espacial (Lima et al., 2010);
- Krigagem Ordinária (Global): usa a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no semivariograma, para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima, sendo considerado um dos melhores interpoladores (Assad e Carvalho, 2005);

Já a interpolação de grade irregular foi a Triangulação de Delaunay, na qual são preservadas todas as feições geomórficas da superfície trabalhada, visto que os próprios pontos levantados determinam as cotas no modelo, buscando um melhor refinamento do mesmo (Câmara e Felgueiras, 2001).

Os métodos citados foram aplicados em curvas de níveis com equidistância de 0,5 m, sendo definida a resolução de 0,1m para cada modelo *raster* gerado. Os dados em ambiente CAD foram exportados para o formato *shapefile*. No aplicativo SAGA GIS, (System for Automated Geoscientific Analyses), que faz parte do pacote do QGIS, foram gerados os modelos.

Através de levantamento em campo, foram obtidos ainda novos dados planialtimétricos na área de estudo, os quais tinham o intuito de auxiliar na verificação da precisão dos interpoladores utilizados, a fim de concluir qual apresentou resultado mais coerente com a realidade. Essa verificação dá-se ao calcular o desvio-padrão de cada interpolador a partir da diferença da coordenada altimétrica entre a calculada e a observada em campo. Desse modo, aquele que apresentar menor desvio-padrão, ou seja, menor dispersão dos valores individuais em torno de uma média, de fato melhor representa a área estudada. Nesta etapa, foi utilizado um par de GPS's Magellan ProMark3, com precisão de horizontal de  $\pm (5\text{mm} + 1\text{ppm})$  e vertical de  $\pm (1\text{mm} + 2\text{ppm})$  em levantamentos L1 C/A estático, em levantamento do tipo cinemático, com precisão horizontal de  $\pm (12\text{mm} + 2,5\text{ppm})$  e vertical de  $\pm (15\text{mm} + 2,5\text{ppm})$ , além de um bastão de fibra de carbono e tripé de metal. O aplicativo computacional escolhido para o processamento dos dados foi o GNSS *Solutions*.

O método escolhido foi o *Stop-and-Go*, o qual permite ao usuário permanecer um mínimo de cinco minutos em cada ponto. Entretanto, buscando maior precisão e acurácia, foram coletados 6 pontos de controle, onde o GPS foi estacionado por quinze minutos em cada ponto, sendo a base escolhida a mesma referência tomada no levantamento antecedente realizado pela prefeitura local, o marco geodésico – que está sendo homologado junto ao IBGE – PRPB Pato Branco. A localização dos pontos de controle pode ser visualizada na Figura 2 juntamente com o modelo tridimensional.

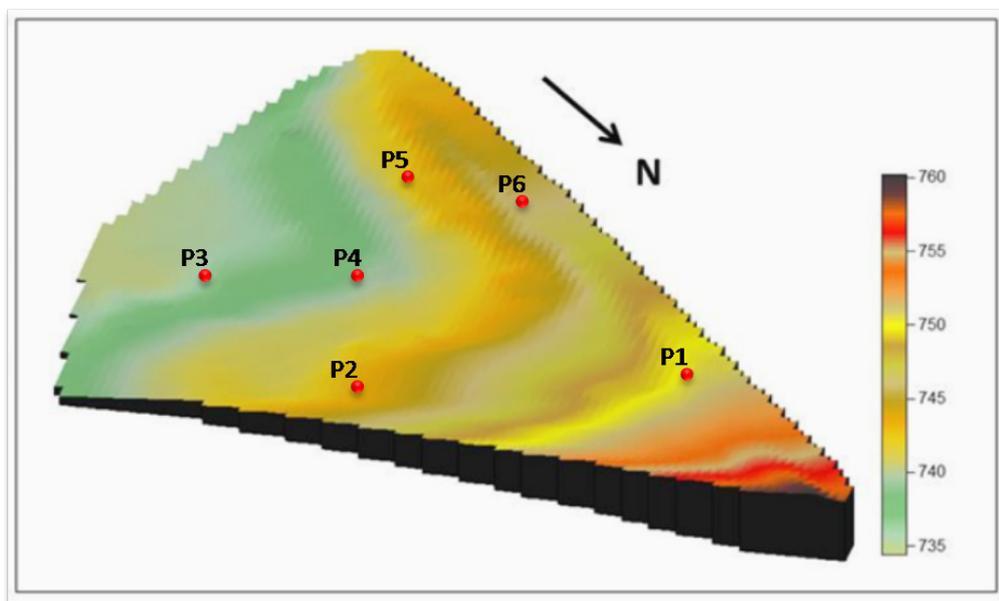


Figura 2. Modelo Tridimensional do Parque Ambiental Vitória Piassa com os pontos de controle.

A Tabela 1 refere-se aos dados obtidos no levantamento dos pontos de controle, os quais serviram de parâmetro para analisar os calculados via interpoladores. São apresentadas as altitudes Geométrica e Ortométrica, sendo a última, calculada através da ondulação geoidal obtida pelo aplicativo MapGEO do IBGE.

Pontos de Controle	X (m)	Y (m)	Altitude Geométrica (m)	Altitude Ortométrica (m)	Ondulação Geoidal (m)
P1	331.732,503050	7.101.084,58866	756,938	752,478	4,460
P2	331.853,858762	7.101.049,45799	751,056	746,596	4,460
P3	331.889,057631	7.100.994,87019	744,474	740,014	4,460
P4	331.849,349102	7.100.945,02100	744,266	739,806	4,460
P5	331.880,366646	7.100.889,38428	742,698	738,228	4,470
P6	331.789,078221	7.100.913,03487	751,466	747,006	4,460

Tabela 1. Coordenadas dos Pontos de Controle.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos métodos de interpolação utilizados, foram gerados MDT's nos quais se inseriu os seis pontos de apoio – distribuídos ao longo da área –, para posterior comparação da variação de altitudes.

Os resultados obtidos com cada interpolador podem ser visualizados na Figura 3, onde as áreas em vermelho correspondem às maiores altitudes, enquanto as áreas em azul correspondem às menores altitudes.

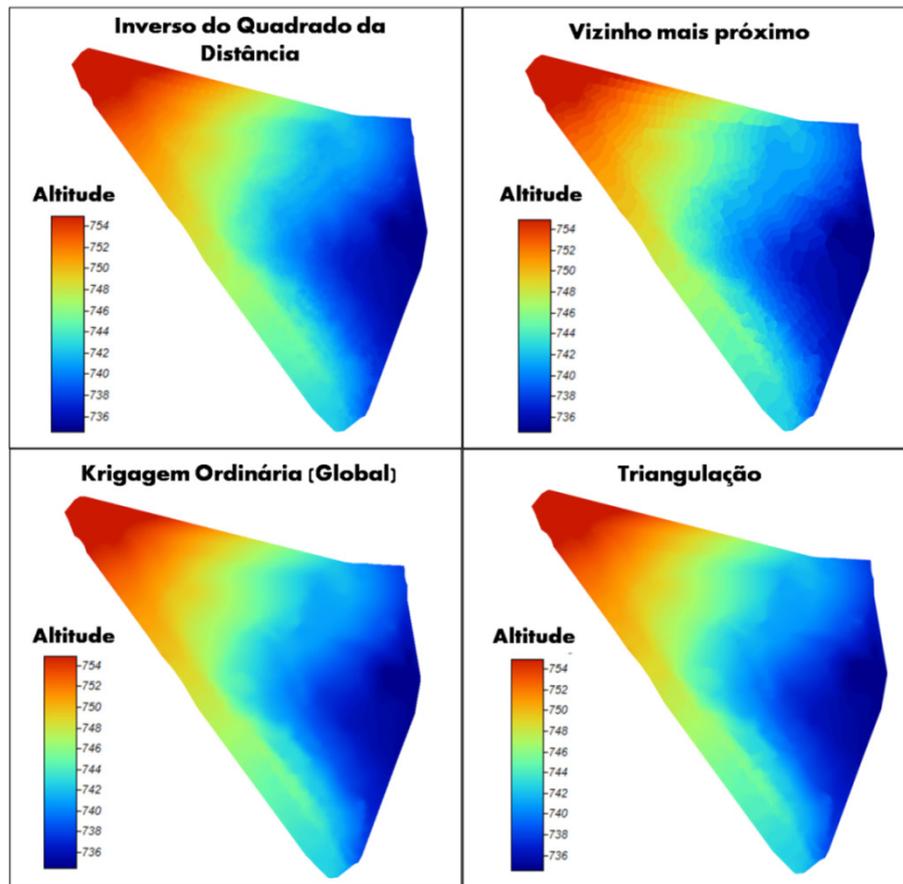


Figura 3. Modelos Digitais de Terreno.

É notado ainda, que a maior qualidade visual na representação do terreno foi obtida com o método da Krigagem, Inverso do Quadrado da Distância e Triangulação. Notou-se que a representação por meio do interpolador Vizinho Mais Próximo apresentou menor desempenho, uma vez que, devido ao seu modelo matemático, as linhas que deveriam ser curvas acabam tornando-se retas, fato que diminui a suavização do mapa e, conseqüentemente, sua qualidade e valor de altitude.

A adoção dos parâmetros média e desvio-padrão, correspondente à diferença entre as altitudes do modelos e das obtidas no terreno, permitiram verificar a precisão dos interpoladores como pode ser visualizado na Tabela 2.

Ponto de Controle	Variação entre a Coordenada Z dos PC's e a Altitude Ortométrica			
	$\Delta H$ IQD	$\Delta H$ VMP	$\Delta H$ Krigagem	$\Delta H$ Triangulação
P1	0,597	0,978	0,870	0,828
P2	4,420	4,596	4,322	4,319
P3	0,027	-0,486	-0,234	-0,255
P4	0,267	0,306	0,200	0,138
P5	0,299	0,228	0,291	0,261
P6	0,750	0,506	0,573	0,573
<b>Desvio-Padrão (<math>\sigma</math>)</b>	1,666	1,814	1,667	1,679
<b>Média</b>	1,060	1,021	1,004	0,977

Tabela 2. Variação entre a coordenada Z dos Pontos de Controle e altitude ortométrica.

O método do Inverso do Quadrado da Distância obteve a melhor precisão (visto que o desvio-padrão  $\sigma = 1,666\text{m}$ ), seguido da Krigagem Ordinária Global ( $\sigma = 1,667\text{m}$ ), apresentando valores bastante similares entre si. Destaca-se ainda que o método do Vizinho Mais Próximo obteve maior desvio-padrão ( $\sigma = 1,814\text{m}$ ), não sendo, portanto, recomendado para trabalhos que demandam maior precisão.

Quanto ao comportamento dos métodos em relação ao indicador de média da variação das altitudes, observa-se maior eficiência na Triangulação ( $=0,977\text{m}$ ). Todos os demais procedimentos apresentaram valores acima de 1m.

#### 4 | CONCLUSÕES

A pesquisa possibilitou verificar a precisão dos distintos interpoladores testados durante o processamento dos dados.

Com base na análise dos métodos de geração de MDT's, foi demonstrado mediante a utilização de quatro interpoladores – baseados em estrutura de dados regular e irregular –, que o produto dos métodos Inverso do Quadrado da Distância, Krigagem Ordinária Global e Triangulação apresentam um Desvio Padrão similar, quando comparado com os dados de altitude do terreno, e mais precisos que o interpolador Vizinho mais Próximo.

Neste sentido, o modelo digital produzido pode ser utilizado em diversas aplicações, facilitando o planejamento da área do Parque Ambiental Vitória Piassa, como por exemplo:

- Gerar imagens em níveis de cinza, sombreadas ou temáticas;
- Determinação de pontos cotados;
- Determinação de perfis longitudinais e seções transversais de alinhamentos traçados sobre o modelo;

- Geração de mapas variados, como declividade ou drenagem;
- Cálculo de volumes de corte e aterro;
- Visualização tridimensional do relevo modelado.

## REFERÊNCIAS

Assad, E. D.; Carvalho, J. R. P. Análise espacial da precipitação pluviométrica no estado de São Paulo: comparação de métodos de interpolação. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 2, p. 377-384, 2005.

Câmara, Gilberto; Felgueiras, Carlos Alberto. MNT. In: Câmara, G.; Davis, C.; Monteiro, A. M. **V. Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 11 mai 2016.

Lima, J. S. S.; Rocha, W. S. D.; Souza, G. S.; Xavier, A.C.; Krigagem ordinária e inverso do quadrado da distância aplicados na espacialização de atributos químicos de um argissolo. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.11, n.1, p.073-081, 2010.

Segantine, P. C. L.; Silva, I. da; **Topografia para engenharia: Teoria e prática de Geomática**. 1ª. ed. São Paulo: Elsevier, 2015. 410 p.

## ANÁLISE DA DINÂMICA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E SUAS IMPLICAÇÕES COM O ZONEAMENTO DO SOLO URBANO NA BACIA DO RIBEIRÃO CAMBUÍ, SÃO JOSÉ DOS CAMPOS - SP.

### **Paulo Roberto Belisário**

Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP/IP&D  
São José dos Campos – São Paulo

### **Maiara Resende Ribeiro**

Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP/IP&D  
São José dos Campos – São Paulo

### **Mario Valério Filho**

Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP/IP&D  
São José dos Campos – São Paulo

**RESUMO:** A elaboração de um planejamento com vistas a, mitigar os impactos da impermeabilização do solo, sobre capacidade suporte de drenagem numa bacia hidrográfica, demanda a análise da dinâmica do uso e ocupação do solo, considerando a ação de diferentes atores que interagem na produção social do espaço e os elementos estruturais indutores da ocupação urbana. Frequentemente a legislação de ordenamento territorial se apresenta dissociada da realidade dos dados da região a qual se aplica. Neste sentido, com o suporte das geotecnologias, este trabalho tem por objetivo mapear e avaliar o nível de impermeabilização do solo, associando-o as taxas de ocupação, estabelecidas pela Lei Complementar N°. 428/10 de 09 de agosto de 2010, como parâmetro para o uso e ocupação do solo na bacia do Ribeirão Cambuí. Os resultados obtidos neste estudo mostram que

a inadequação da lei de zoneamento frente a realidade local pode implicar no aumento da impermeabilização do solo e consequente promoção de inundação na região de estudo.

**PALAVRAS-CHAVE:** geotecnologias, bacia hidrográfica, crescimento urbano.

**ABSTRACT:** The preparation of a plan to mitigate the impacts of soil sealing on the capacity of a watershed, requires the analysis of the dynamics of land use/occupation, considering the different actors that interact in the social production of space and structural elements of urban occupancy inductors. Often spatial planning legislation is dissociated from the reality of the region data which applies. In this frame, this paper introduces a methodological approach based on geo-technologies to map the urban fringe and its imperviousness levels, associating it to human occupation indices, established by the Complimentary Law Nr. 428/10, dated Ago. 09th 2010, as the parameters for land use/occupation of the Ribeirão Cambuí watershed. The region foreseen for occupation in accordance with the Urban Zoning Law, is spread between two important roads, with several illegal allotments. The results obtained from this study show the inadequacy of the zoning law against local realities can result in increasing soil imperviousness and the consequent promotion of inundations in the

region of study.

**KEYWORDS:** geotechnologies, watershed, urban grown.

## 1 | INTRODUÇÃO

O estudo do impacto da urbanização sobre o sistema de macrodrenagem em uma bacia hidrográfica, demanda a análise da evolução temporal do processo de uso e ocupação do solo e suas tendências. Marcondes (1999) afirma que, “a visão de espaço neutro com referência à atuação dos diferentes agentes que interagem nos processos de uso e ocupação do solo corroboram para a elaboração de uma legislação de ordenamento territorial desconectada dos dados da realidade a qual se aplica”. De acordo com Tucci (1997) “depois que a bacia ou parte da mesma estiver ocupada, dificilmente o poder público conseguirá responsabilizar aqueles que estiverem ampliando a cheia.” Assim sendo, este trabalho tem por objetivo, mapear as classes de uso e ocupação do solo, para avaliar a sua dinâmica e verificar suas implicações frente à legislação de ordenamento territorial na região da bacia do Ribeirão Cambuí – São José dos Campos SP no período 2003 a 2010, com o suporte das geotecnologias.

## 2 | LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está inserida na bacia hidrográfica do Ribeirão Cambuí, Figura 1, localizada entre os paralelos 23° 08' 36" S e 23° 17' 51" S e os meridianos 45° 46' 53" W e 45° 53' 43" W, abrangendo uma área de aproximadamente 49,5 km<sup>2</sup>.

A bacia hidrográfica do Ribeirão Cambuí faz parte dos afluentes da margem direita do rio Paraíba do Sul, estando localizado totalmente no perímetro urbano do município de São José dos Campos e entrecortada por três importantes rodovias, a SP-70 (Rodovia Governador Carvalho Pinto) e SP-99 (Rodovia dos Tamoios) à montante, e a BR-116 (Rodovia Presidente Dutra) à jusante.

Segundo o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado de São José dos Campos PDDI (SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 1995), na ocupação do território das regiões sul e leste do município ocorreu o parcelamento do solo de forma desordenada. Notadamente a bacia do Ribeirão Cambuí, localizada entre as duas áreas, foi submetida à mesma forma de ocupação do território.

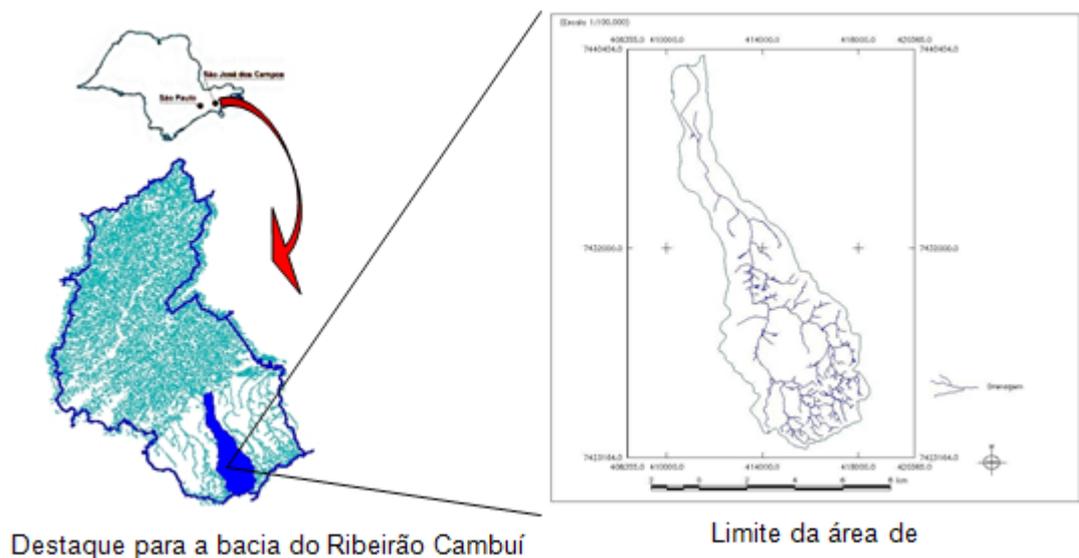


Figura 1: Localização da área de estudo.

Fonte: Autores.

### 3 | MATERIAL E MÉTODOS

Para o alcance dos objetivos foi realizado um levantamento de dados junto a Prefeitura Municipal de São José dos Campos, a qual disponibilizou o CD-ROM “Cidade viva 2010” que contém material cartográfico digital no formato SPRING (.spr) com dados planimétricos e altimétricos do município de São José dos Campos – SP. Os dados planimétricos na forma vetorial incluem: drenagem, classes de uso do solo, classes de unidades territoriais e sistemas viários. Os dados altimétricos referem-se ao Modelo Numérico de Terreno (MNT) com curvas de nível a cada 5m.

A estrutura do banco de dados relativo à área de estudo consistiu na consulta dos arquivos dos mapas temáticos de uso e ocupação do solo para 1997, 2003 e 2008, segundo Souza e Valério Filho (2011). No ambiente SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas, versão 5.0.6), a máscara dos limites da bacia foi importado do levantamento de 2008 e aplicado sobre a imagem Quickbird 2010 e Astrium 2014, as quais foram utilizadas para o mapeamento das classes de uso e ocupação do solo.

Para atender os objetivos da pesquisa os perímetros urbanos e as classes de uso ocupação do solo foram definidas através dos elementos de interpretação (tonalidade/cor, tamanho, forma, textura, padrão e dados colaterais) diretamente da tela do computador, sendo que para o perímetro urbano foram individualizadas em 5 classes conforme padrões definidos para as classes de uso e ocupação do solo segundo Valério Filho e Belisário (2012). Posteriormente, cada classe de uso e ocupação recebeu um índice de impermeabilização adaptado conforme Tucci (1997), Tucci e Marques (2000). A substituição das classes de uso e ocupação pelos respectivos índices em ambiente SPRING, permitiram a visualização dos setores da bacia de maior criticidade quanto a impermeabilização das superfícies do terreno.

Com base nos resultados obtidos, foi possível espacializar e avaliar os setores da bacia que se apresentam com diferentes níveis de criticidade, os quais por sua vez estão diretamente relacionados ao maior ou menor percentual de áreas impermeabilizadas.

Finalmente, efetuou-se uma análise da adequação acerca da Taxa de Ocupação (TO) estabelecida pela lei municipal de zoneamento (SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 2010a), frente a evolução das classes de uso e ocupação do solo na região da bacia do Ribeirão Cambuí. Para esta análise foi incorporado ao banco de dados o mapa do Zoneamento do Solo Urbano proposto.

#### 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

As classes de uso e ocupação do solo mapeadas podem ser visualizadas na Figura 2.

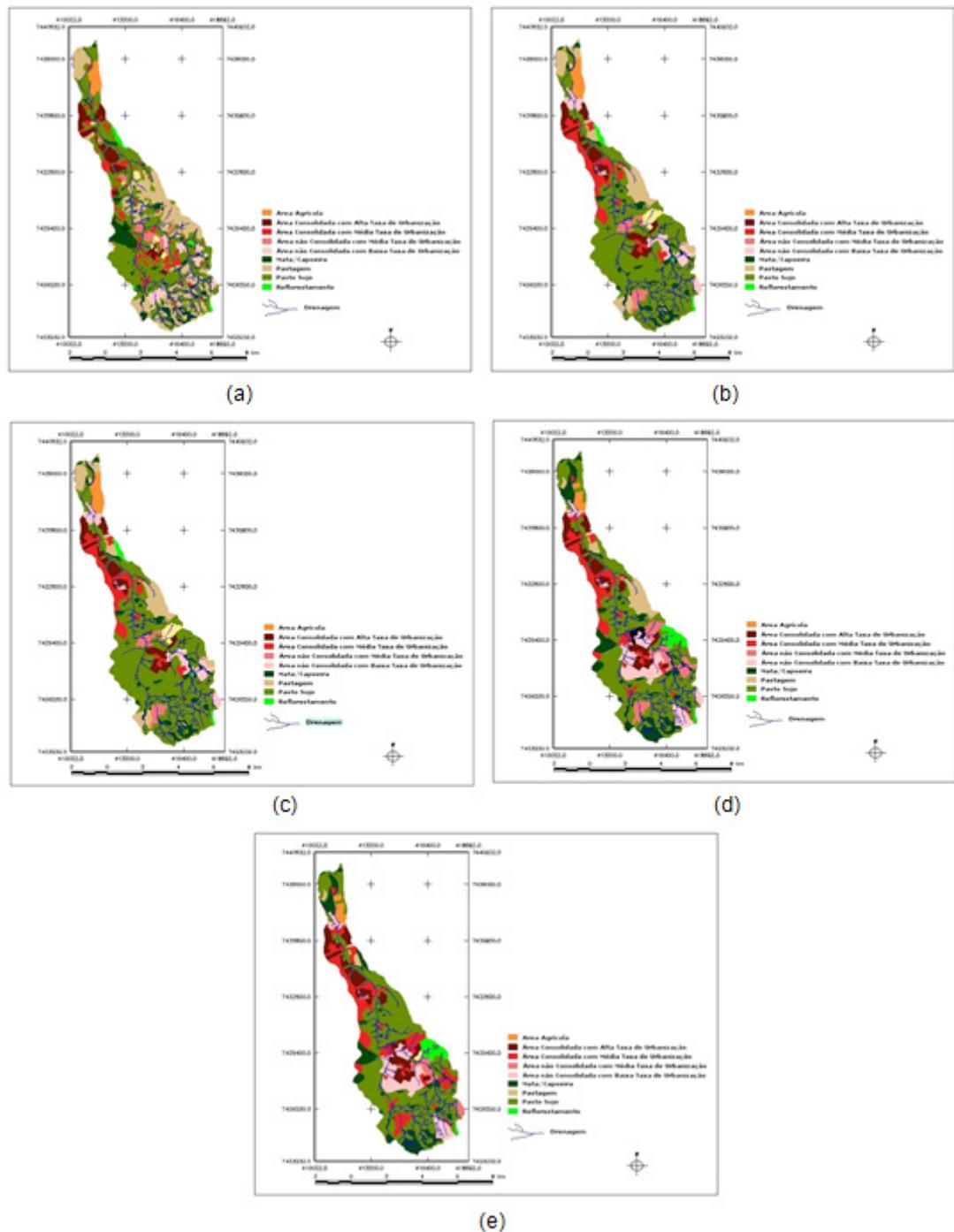


Figura 2: Mapas das classes de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão Cambuí (a) 1997 e (b) 2003, (c) 2008, (d) 2010 e (e) 2014.

Fonte: Autores.

Pela análise da Figura 2 e Tabela 1, verifica-se que as áreas urbanizadas passaram a ocupar áreas pertencentes a classe pastagem, e houve o adensamento dos perímetros urbanos implantados anteriormente. A análise dos mapas permitiu verificar o crescimento urbano no período, bem como a alteração dos diferentes usos os quais podem ser avaliados quantitativamente pela Tabela 1.

A Tabela 1 apresenta o resultado das áreas (Km<sup>2</sup>) ocupadas pelas diferentes classes de uso e ocupação do solo no período analisado.

Classes de Ocupação Urbana / Ano	1997		2003		2008		2010		2014	
	(Km <sup>2</sup> )	(%)								
Área Urbana Consolidada Taxa Alta	3,38	6,83	3,61	7,29	4,05	8,18	4,61	9,32	4,80	9,70
Área Urbana Consolidada Taxa Média	3,15	6,36	2,56	5,17	4,37	8,83	4,93	9,96	7,31	14,77
Área Urbana Não Consolidada Taxa Média	1,15	2,32	0,89	1,80	1,12	2,26	3,02	6,10	1,29	2,61
Área Urbana Não Consolidada Taxa Baixa	1,94	3,92	5,13	10,36	2,84	5,74	4,99	10,08	4,54	9,17
Área Urbana em Implantação	0,37	0,75	1,27	2,57	0,78	1,58	0,00	0,00	0,13	0,26
Pastagem	12,20	24,65	6,44	13,01	4,79	9,68	2,59	5,23	0,41	0,83
Pasto Sujo	22,43	45,31	25,64	51,80	27,54	55,66	21,77	44,00	23,83	48,14
Área Agrícola	1,06	2,14	1,27	2,57	1,29	2,61	0,73	1,47	0,74	1,49
Mata Capoeira	3,22	6,51	2,25	4,55	2,28	4,61	5,08	10,27	5,34	10,79
Reflorestamento	0,42	0,85	0,41	0,83	0,42	0,85	1,76	3,56	1,33	2,69
Área Total	49,50	100,00	49,50	100,00	49,50	100,00	49,50	100,00	49,50	100,00

Tabela 1- Áreas ocupadas pelas diferentes classes de uso e ocupação do solo para o período entre os anos 1997 e 2014 na área de estudo.

Fonte: Autores.

Os resultados apresentados na Tabela 1 mostram o aumento no crescimento das classes Área Urbana Consolidada com taxa alta e taxa média de ocupação, que passaram de 13,19% em 1997 para 24,50% da área total da bacia em 2014. Também permitem constatar o aumento do crescimento em área para as classes Área Urbana Não Consolidada Taxa Média e Taxa Baixa de ocupação que passaram de 6,24% em 1997 para 24,65% em 2014, bem como, o expressivo declínio em área da classe Pastagem, a qual em 1997 representava 24,65% do total da área de estudo e em 2014 passou a ocupar apenas 0,83%, indicando assim, que parte foi utilizada para novas ocupações conforme indicado na Tabela 1, bem como, pela classe Área Urbana em Implantação, por outro lado a própria evolução natural da cobertura vegetal em estágio de abandono pode evoluir para a classe Pasto Sujo ou mesmo para estágios iniciais de Mata/Capoeira.

Visando a espacialização dos locais com maior ou menor criticidade quanto à impermeabilização do terreno foi associado para classe de uso e ocupação do solo seus respectivos índices, segundo Tucci (1997) e Tucci e Marques (2000) permitindo-se assim, estabelecer níveis de área impermeabilizada para as classes de uso e ocupação mapeadas na área de estudo, conforme apresentado nas Figuras 3 e 4.

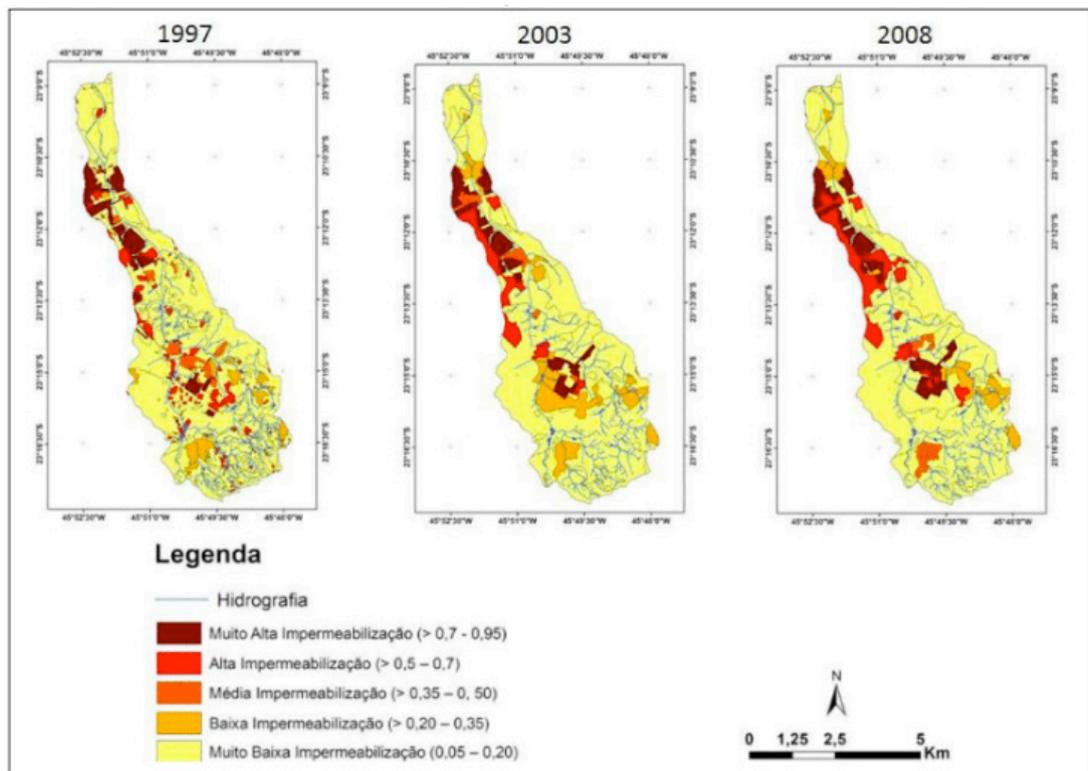


Figura 3: Espacialização dos níveis de impermeabilização em função das classes de uso e ocupação na bacia do Ribeirão Cambuí no período 1997, 2003, 2008.

Fonte: Souza e Valério Filho (2011).

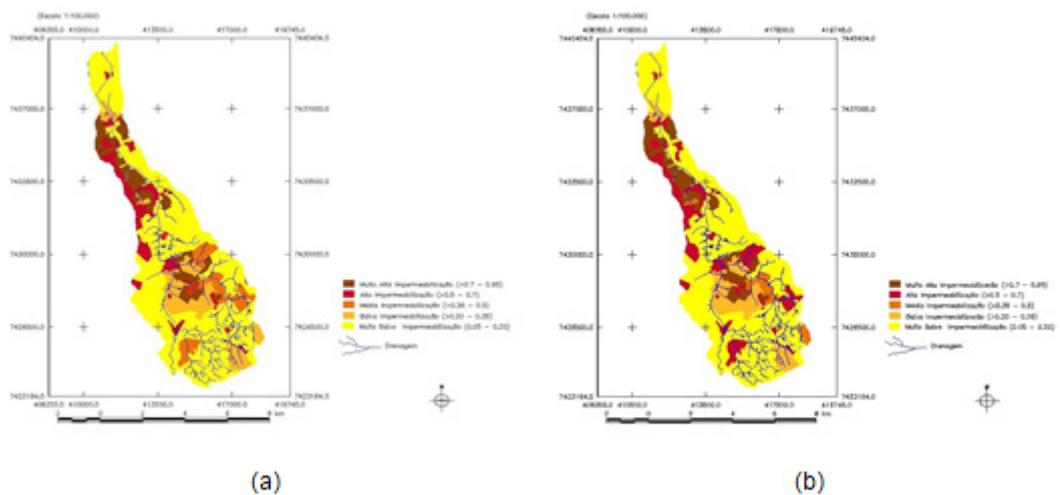


Figura 4: Espacialização dos índices de impermeabilização em função das classes de uso e ocupação na bacia do Ribeirão Cambuí no período analisado (a) 2010 e (b) 2014.

Fonte: Autores.

A espacialização das áreas impermeáveis da bacia mostram um acréscimo expressivo da impermeabilização. Ao analisar-se a localização destas, observa-se que estão concentradas em áreas situadas principalmente a leste e no centro da bacia, próximo a localização dos bairros que sofrem anualmente com inundações.

Na área de estudo foi detectada a presença das seguintes unidades de

zoneamento, Tabela 2 e Figura 5, segundo a Lei Complementar Nº. 428/10 de 09 de agosto de 2010:

Unidade	Nome
APA III	Área de Proteção Ambiental III
CR1	Corredor Um
CR5	Corredor Cinco
CR6	Corredor Seis
NPR	Nota Promissória Rural
ZAI	Zona de Assentamento Informal
ZEA	Zona Especial Aeroportuária
ZEIS	Zona Especial de Interesse Social
ZEPH	Zona Especial de Preservação do Patrimônio Histórico, Paisagístico e Cultural
ZI	Zona de Uso Estritamente Industrial
ZPA 1	Zona de Proteção Ambiental Um
ZPA 2	Zona de Proteção Ambiental Dois
ZQA	Zona de Qualificação
ZR 1	Zona Residencial Um
ZR 2	Zona Residencial Dois
ZUC 1	Zona de Urbanização Controlada Um
ZUC 2	Zona de Urbanização Controlada Dois
ZUC 3	Zona de Urbanização Controlada Três
ZUC 6	Zona de Urbanização Controlada Seis
ZUC 7	Zona de Urbanização Controlada Sete
ZUC 8	Zona de Urbanização Controlada Oito
ZUD	Zona de Uso Diversificado
ZUE3	Zona de Urbanização Específica
ZUPI	Zona de Uso Predominantemente Industrial

Tabela 2- Unidades de Zoneamento detectadas na área de estudo.

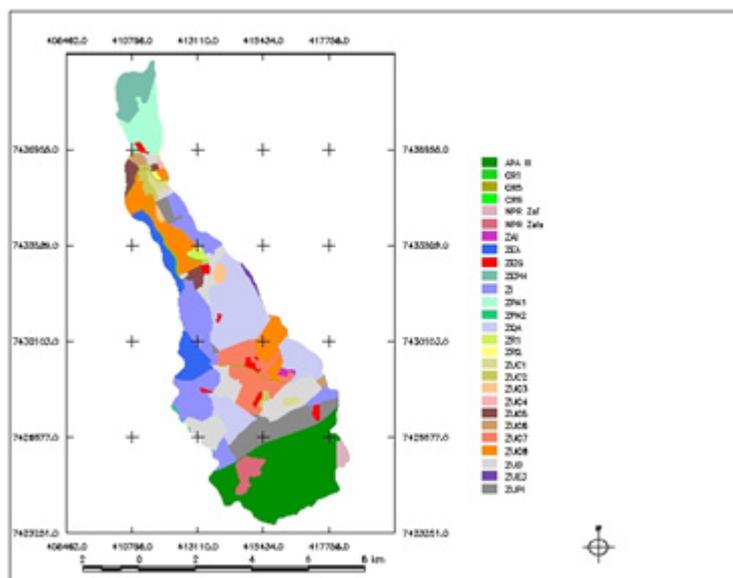


Figura 5: Mapa de Zoneamento do Solo Urbano 2010.

Fonte: São José dos Campos, (2010b)

A integração das taxas de ocupação estabelecidas pela lei de zoneamento (SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 2010a), com o mapeamento das classes de uso e ocupação do solo Tabela 4, mostrou que da área total (49,50 km<sup>2</sup>) da bacia, 7,31Km<sup>2</sup> está ocupado pela Classe Área Urbana Consolidada Taxa Média distribuídas entre as zonas CR1, CR5, CR6, NPR Zeis, ZEA, ZEIS, ZEPH, ZI, ZPA1, ZQA, ZR1, ZUC1, ZUC2, ZUC5, ZUC6, ZUC7, ZUC8, ZUD, ZUPI, APAIII, 4,80 Km<sup>2</sup> está ocupado pela Classe Área Urbana Consolidada Taxa Alta e distribuídas entre zonas CR5, CR6, ZEIS, ZQA, ZR2, ZUC1, ZUC2, ZUC3, ZUC6, ZUC7, ZUC8, ZUD, 1,29 Km<sup>2</sup> está ocupado pela Classe Área Urbana Não Consolidada Média distribuídas entre as zonas CR5, NPR Zai, ZAI, ZUC 1, ZUC 5, ZUC 7, ZUC 8, ZUD, APA III e 4,54 Km<sup>2</sup> está ocupado pela Classe Área Urbana Não Consolidada Baixa distribuídas entre as zonas CR5, ZEIS, ZI, ZPA1, ZQA, ZUC6, ZUC7, ZUC8, ZUD, ZUPI, APAIII.

Cabe salientar que, da área total da bacia (49,50 km<sup>2</sup>), 16,36% (8,10 km<sup>2</sup>) estão sob classificação ZUC. Os resultados expressos na Tabela 3 mostram que do total da área de 4,80 Km<sup>2</sup> da Classe Área Urbana Consolidada Taxa Alta e 7,31Km<sup>2</sup>, da Classe Área Urbana Consolidada Taxa Média, ambas ocorrem respectivamente 95% e 30% na zona ZUC.

Considerando-se que o nível de impermeabilização na Classe Área Urbana Consolidada Taxa Alta conforme os índices de impermeabilização adaptados de Tucci (1997) e Tucci e Marques (2000) é de 80% (Muito Alta impermeabilização) e a zona de classificação ZUC admite Taxa de Ocupação (TO) de 65%, sugere-se que 56,42% (4,57 km<sup>2</sup>) desta zona esteja ocupada com TO acima da definida na Lei Complementar Nº. 428/10 de 09 de agosto de 2010. Considerando-se que a Área Urbana Consolidada Taxa Média classificada como nível de alta impermeabilização do solo (60%), tende a evoluir para Área Urbana Consolidada Alta. No futuro a área sob esta classificação (Área Urbana Consolidada Taxa Média) a qual atualmente é de 2,19 km<sup>2</sup> na ZUC, estará na classificação de nível Muito Alta Impermeabilização e em média 80% da área estará impermeabilizada.

Zona	Área Consolidada Alta	Área Consolidada Média	Área Não Consolidada Média	Área Não Consolidada Baixa	Área Ocupada	TO prevista em Lei
CR4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
CR5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
CR6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
NPR Zeis	0,00	0,78	0,00	0,00	0,76	
NPR Zai	0,00	0,00	0,27	0,00	0,27	
ZAI	0,00	0,00	0,12	0,00	0,11	
ZEA	0,00	1,09	0,00	0,00	1,07	
ZPA1	0,00	0,09	0,00	0,07	0,14	0,02%
ZEIS	0,08	0,27	0,00	0,26	0,57	
ZEPH	0,00	0,05	0,00	0,00	0,03	
ZI	0,00	1,19	0,00	0,02	1,18	80%

ZQA	0,01	0,19	0,00	0,78	0,96	
ZUC1	0,19	0,03	0,06	0,00	0,25	65%
ZUC2	0,24	0,15	0,00	0,00	0,39	65%
ZUC3	0,31	0,00	0,00	0,00	0,31	65%
ZUC4	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05	65%
ZUC5	0,55	0,20	0,08	0,00	0,83	65%
ZUC6	0,02	0,06	0,00	0,16	0,24	65%
ZUC7	1,42	0,51	0,29	0,69	2,91	65%
ZUC8	1,79	1,24	0,08	0,01	3,12	65%
ZUD	0,08	0,49	0,37	1,36	2,30	80%
ZUPI	0,00	0,58	0,00	0,19	0,77	80%
ZR1	0,00	0,22	0,00	0,00	0,22	65%
ZR2	0,06	0,00	0,00	0,00	0,06	65%
APA III	0,00	0,17	0,08	0,99	1,24	0,05%
Total	4,80	7,31	1,35	4,54	17,78	

Tabela 3. Classes de uso e ocupação do solo (Km<sup>2</sup>), existentes nas zonas de uso do solo urbano no ano 2010.

Os resultados indicam o aumento da probabilidade de ocorrência de eventos de inundações anuais na bacia, provocando assim conseqüências sócio ambientais as quais refletem na qualidade de vida daquela sociedade.

Segundo Souza e Valério Filho (2011) com base nos dados da Defesa Civil de São José dos Campos, cita que no período de 1997 a 2008, há registros de inundação em bairros da bacia para os anos de 1999, 2000, 2001, 2003, 2005, 2006, 2007 e 2008. Martins e Vendrame (2008) calcularam o período de retorno da chuva de 55 mm que ocorreu em 12/01/2008 na área de estudo, o que significa que a probabilidade de uma chuva com a mesma intensidade acontecer novamente a cada ano é de 100%.

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização das geotecnologias neste estudo, proporcionou a visualização e análise da dinâmica histórica da urbanização com vistas as tendências da impermeabilização do solo, a luz da lei de zoneamento vigente no ano 2014. Foi possível constatar o incremento do crescimento urbano na bacia o qual por sua vez concorre para novas ocorrências de alagamentos e inundações conforme constatado em períodos anteriores. Assim a política de planejamento urbano do município deve ser concebida dentro da realidade local. Portanto, deve - se descartar modelos prontos e trabalhar na perspectiva da heterogeneidade de intervenções, a partir de princípios que englobem a dinâmica da cidade real, em seu contexto social - econômico, cultural, ambiental, estrutural e os elementos estruturantes do espaço. A implementação de uma política habitacional que possibilite o acesso democrático à cidade deve ser associada à uma

política de planejamento urbano abrangente e, para tanto, faz-se necessário trabalhar com a cidade real e não só com a cidade legal.

## REFERÊNCIAS

MARCONDES, M. J. A. Cidade e Natureza: **Proteção dos Mananciais e Exclusão Social**. São Paulo: EDUSP, 1999. 99p.

MARTINS, D.; VENDRAME, I. **Análise hidrológica da precipitação ocorrida em 12 de janeiro de 2008 em São José dos Campos – SP – Brasil**. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL (AIDIS), 31. 2008, Santiago, Chile. **Anais...** Santiago, Chile: AIDIS, 2008.

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. Prefeitura. **Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado (PDDI): Lei Complementar 121/1995**. São José dos Campos: Secretaria de Planejamento Urbano, 1995. Disponível em: <[http://www.sjc.sp.gov.br/spu/plano\\_diretor.asp](http://www.sjc.sp.gov.br/spu/plano_diretor.asp)> Acesso em: 8 nov. 2010.

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. Prefeitura. Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente. **Lei Complementar Nº. 428/10 de 09 de agosto de 2010**. São José dos Campos, 2010a. Disponível em: <[http://www.sjc.sp.gov.br/secretarias/planejamento\\_urbano/legislacao.aspx](http://www.sjc.sp.gov.br/secretarias/planejamento_urbano/legislacao.aspx)>. Acesso em: 10 jan. 2013.

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. Prefeitura. Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente. **Banco de Dados Geográfico Cidade Viva**. São José dos Campos, 2010b. CD-ROM.

SOUZA, R.; VALÉRIO FILHO, M. **Análise do crescimento urbano e os impactos na macrodrenagem com o auxílio de geotecnologias. Estudo de caso: bacia hidrográfica do Ribeirão Cambuí - São José dos Campos - SP**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 4791-4797. Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/3A3TBQS>>. Acesso em: 17 nov. 2012.

TUCCI, C. E. M. **Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepção**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.2, n. 2, 1997.

TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. L. M. **Avaliação e Controle da Drenagem Urbana**. Porto Alegre : Ed. UFRGS, 2000. 558 p.

VALÉRIO FILHO, M.; BELISÁRIO, P. R. **Imagens orbitais de alta resolução aplicadas no monitoramento do crescimento urbano e suas conseqüências sócioambientais**. *Revista da ANPEGE*, v.8, n.9, p.119-135, 2012.

## ANÁLISE DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE NA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA (RMG), NO PERÍODO DE 1986 A 2016

### **Joelson de Souza Passos**

Universidade Federal de Goiás, Geografia/IESA  
Goiânia-GO

### **Jepherson Correia Sales**

Universidade Federal de Goiás, Geografia/IESA  
Goiânia-GO

### **Gabriella Santos Arruda de Lima**

Universidade Federal de Goiás, Ciências Ambientais/IESA  
Goiânia-GO

**RESUMO.** O desmatamento do Cerrado Brasileiro vem ocorrendo de forma acelerada nas últimas décadas, sendo as atividades econômicas ligadas à agropecuária e o crescimento dos centros urbanos alguns dos fatores responsáveis pelo desmatamento deste bioma, sobretudo, pela degradação das áreas de preservação permanente (APP) ao longo dos cursos d'água e nascentes. Neste escopo, a Região Metropolitana de Goiânia, pertencente ao Cerrado, possui uma população aproximada de 2.493.535 habitantes e uma intensa atividade agropecuária, sendo o local de enfoque deste trabalho. O objetivo deste artigo é analisar a situação das áreas de preservação permanente no entorno dos cursos d'água e das nascentes na Região Metropolitana de Goiânia (RMG) nos anos de 1986, 2006 e 2016, utilizando os Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Como resultado, verificou-se que nesse período ocorreu o desmatamento de 6,36% de áreas da vegetação no entorno das APP dos cursos d'água e nascentes. Este desmatamento da vegetação natural está fortemente relacionado com o uso de pastagens ligado à atividade agropecuária.

**PALAVRAS-CHAVE:** Região Metropolitana de Goiânia, APP, conservação ambiental, Desmatamento, SIG.

**ABSTRACT.** The Brazilian Cerrado deforestation has been occurring in an accelerated way in recent decades, with economic activities linked to agriculture and the growth of urban centers some of the factors responsible for the deforestation of this biome, mainly due to the degradation of permanent preservation areas (APP) along of water courses and springs. In this scope, the Metropolitan Region of Goiânia, belonging to the Cerrado, has an approximate population of 2,493,535 inhabitants and an intense agricultural activity, being the place of focus of this work. The objective of this article is to analyze the situation of the permanent preservation areas around the waterways and springs in the Metropolitan Region of Goiânia (RMG) in the years 1986, 2006 and 2016, using Geographic Information Systems (GIS). As a result, it was verified that in this period the deforestation of 6.36% of vegetation areas

around the APP of the watercourses and springs occurred. This deforestation of the natural vegetation is strongly related to the use of pastures linked to agricultural activity.

**KEYWORDS:** Metropolitan Region of Goiânia, APP, environmental conservation, Deforestation, GIS.

## 1 | INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de atividades econômicas brasileiras nas últimas décadas vem ocorrendo de forma predatória. Essas ações progressivas contra a natureza têm gerado pressão sobre as matas nativas, as quais são convertidas para o uso agropecuário ou para o uso urbano. Tais atividades humanas interferem na dinâmica da natureza, provocando alterações de equilíbrio dos regimes hídricos nos cursos d'água, geomorfológicos (como a perda de solo) e ecológico, com a redução da biodiversidade. Essas são denominadas Zonas Ripárias, com maior dinâmica da paisagem (LIMA et. al., 2000).

Estudos desenvolvidos para a área de Cerrado demonstram que o bioma vem sendo alvo de ações de desmatamento ligado principalmente à expansão de atividades econômicas (KLINK; MACHADO, 2005; FERREIRA et. al., 2007). Ainda, Rabelo et. al. (2009) demonstram a influencia na qualidade da água para o grau de preservação da bacia hidrográfica, sobretudo com relação às zonas ripárias, onde se localiza as matas ciliares.

A Região metropolitana de Goiânia (RMG), localizada no centro do bioma Cerrado, é caracterizada pelo rápido aumento populacional e o uso intensivo de recursos hídricos e da terra. Cunha e Borges (2015) indicam os principais impactos que estão ocasionando graves problemas de abastecimento de água na RMG, dentre eles, o uso irregular do solo com a ocupação de áreas de preservação permanentes (APP) (matas ciliares e nascentes) e a construção de barragens nos cursos d'água.

As APP são definidas na Lei 12.651/2012, como áreas importantes para a manutenção do equilíbrio hídrico e da biodiversidade de uma região ou bacia hidrográfica. Os limites dessas áreas de preservação, sob o ponto de vista dos interesses no seu uso são bastante conflitantes (LIMA et. al., 2000). Por vezes, o que a Lei 12.651/2012 impõe como limite não é o suficiente para real preservação ambiental das dimensões hídricas, geomorfológicas e ecológicas, uma vez que os padrões das zonas ripárias (nascentes e ao redor dos cursos d'água) variam de acordo com as estações do ano, aos períodos de cheias e secas, existindo também, uma dimensão temporal na delimitação dessas zonas de interesse de preservação (GREGORY et al., 1992).

Nas últimas décadas, o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) passam a ser empregados com intuito de obtenção de diagnóstico ambiental, auxiliando nos estudos específicos como as APPs, no sentido de projetos de ocupação,

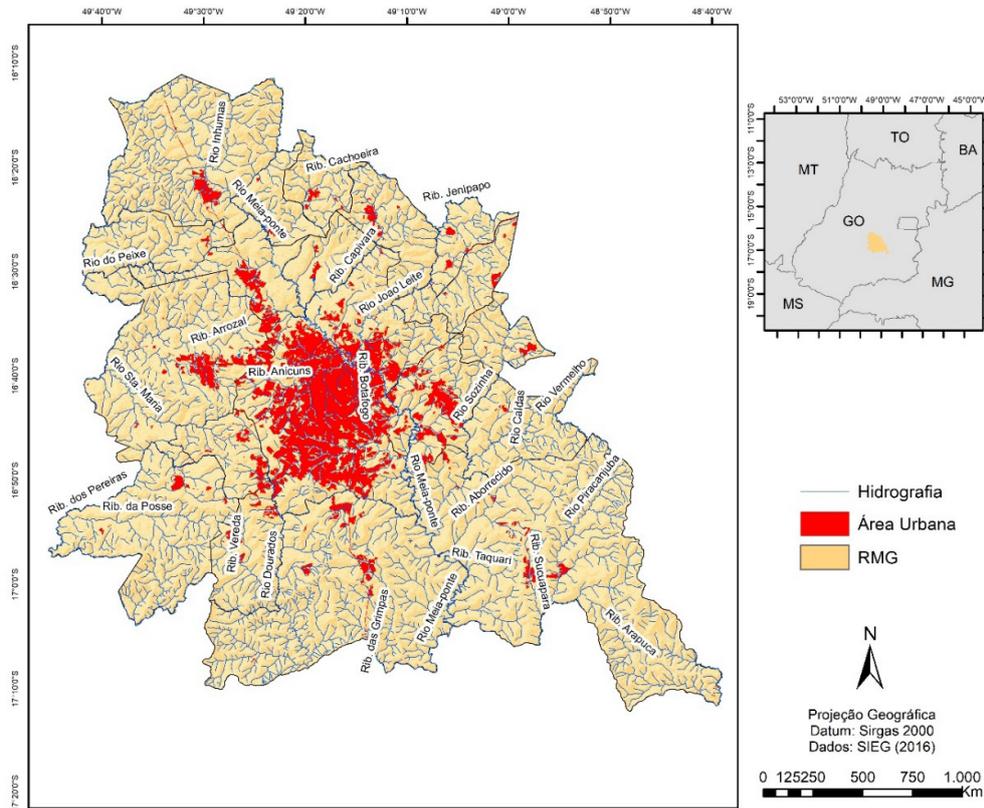
preservação ou recuperação. Os produtos extraídos pelos SIGs podem auxiliar no ordenamento territorial, indicando uma ocupação do espaço de forma racionalizada, além de buscar o desenvolvimento sustentável do território (MEDEIROS; CÂMARA, 2001). Os produtos de Sensoriamento Remoto e sua manipulação em ambiente SIG permitem uma rápida e econômica abordagem na apuração da dinâmica do uso do solo, sobretudo em áreas de preservação permanente.

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo analisar a situação das áreas de preservação permanente – entorno dos cursos d’água e das nascentes – na região metropolitana de Goiânia (RMG) nos anos de 1986, 2006 e 2016. A proposta de estudo será baseada nos limites das APPs estabelecidas na Lei 12.651 de 2012, com o uso do SIG e de imagens de satélite.

## **2 | METODOLOGIA DE TRABALHO**

### **2.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo**

A região metropolitana de Goiânia pertence à Mesorregião do Centro Goiano e à Microrregião de Goiânia, unidades de planejamento adotadas pelo Estado de Goiás. Nessa região estão localizados vinte municípios, que totalizam 7.315 km<sup>2</sup>: Abadia de Goiás, Aparecida de Goiânia, Aragoiânia, Bela Vista de Goiás, Bonfinópolis, Brazabrantes, Caldazinha, Caturaí, Goiânia, Goianópolis, Goianira, Guaporé, Hidrolândia, Inhumas, Nerópolis, Nova Veneza, Santo Antônio de Goiás, Senador Canedo, Terezópolis de Goiás e Trindade, localizados entre as coordenadas de latitude Sul 16° 08’ e 17° 12’ e longitude Oeste 49° 44’ e 48° 48’, conforme Figura 1.



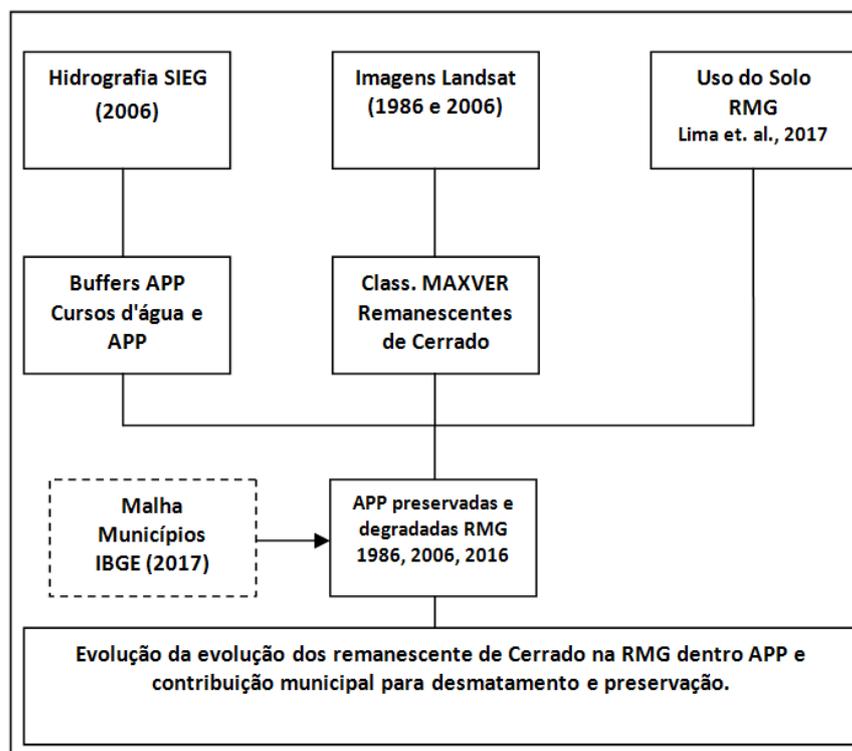
**Figura 1** – Localização da região metropolitana de Goiânia (RMG), com limite de municípios e hidrografia.

Os solos encontrados na região são os Argissolos, Cambissolos, Gleissolos, Latossolos e Neossolos (Embrapa, 1999). Nos meses de dezembro e janeiro, de maior concentração pluviométrica, a média de precipitação é de 270 mm, enquanto no período de maior seca, nos meses de junho, julho e agosto as médias pluviométricas são bastante reduzidas, podendo chegar a 0 mm (INMET, 1992). O relevo é predominantemente plano a suave-ondulado, com poucas áreas com declividade mais elevada.

A rede hidrográfica da área de estudo é composta pela bacia do Rio Paranaíba, na qual encontram-se as bacias hidrográficas o Ribeirão João Leite e a do Rio Meia Ponte, principais cursos responsáveis pelo abastecimento público da população da RMG. Como principais bacias a região também está inserida, na bacia hidrográfica do Rio dos Bois, e do Rio Corumbá, no Oeste e Sudeste da região, respectivamente. Torna-se essencial a conservação dos remanescentes de vegetação para a proteção dos mananciais da RMG, pois há o aumento da demanda do abastecimento hídrico devido ao crescimento populacional registrado nos últimos anos (CUNHA & BORGES, 2015).

## 2.2 Materiais e Métodos

O trabalho de análise das APPs foi realizado com o uso software ArcGis 9.3 da empresa ESRI, com as etapas da pesquisa elencadas na Figura 2.



**Figura 2** – Etapas metodológicas da pesquisa.

A figura 2 apresenta as etapas metodológicas e os materiais que foram empregados no estudo de análise dos remanescentes de Cerrado dentro das APP ao longo dos cursos d'água e nascentes pertencentes a RMG. De forma geral o trabalho é realizado por procedimentos de classificação de imagens, obtenção de APP por técnicas de geoprocessamento e a sobreposição de planos de informações, entre os remanescentes de cerrado com a área municipal, obtendo-se a contribuição municipal na preservação e degradação de APP da RMG.

Foi utilizado uma base dados geográfica vetorial (hidrografia) produzida pelo Instituto Brasileira de Geografia e Estatística (IBGE) na escala de 1:100.000 e disponibilizado pelo SIEG (Sistema Estadual de Geoinformação). Foram adquiridos junto ao USGS (*United States Geological Survey*) os dados em formato *raster* (Landsat-5 TM, órbita/ponto 221/72, 222/71 e 222/72, para os anos de 1986 e 2006, e Landsat-8 OLI cenas 221/72, 222/71 e 222/72 para o ano de 2016), tais imagens foram utilizadas para a classificação dos remanescentes de vegetação.

Para realização deste trabalho foram considerados as APPs de trinta metros (30 m) para os cursos d'água com menos de 10 (dez) metros de largura, e de cinquenta metros (50 m) para os cursos d'água de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura, além das áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água, com a APP de cinquenta metros (50 m), conforme Lei 12.651 de 2012.

Em ambiente de Sistema de Informação Geográfica, todos os arquivos receberam as mesmas propriedades cartográficas, projetados no Sistema de Referência de Coordenadas Sirgas 2000, de característica geocêntrica, adotando o UTM da zona 22

Sul. Os dados lineares de hidrografia foram utilizados para gerar as zonas de Área de Preservação Permanente (APP), com *buffers* para cada margem dos cursos d'água, e em torno das nascentes.

O mapa de uso e cobertura da terra foi realizado por meio da interpretação visual das imagens para coleta de amostras de pixel das diversas feições apresentadas nas imagens. Nesse processo foram identificados os elementos da paisagem (remanescente de vegetação, corpos hídricos e outros usos) com apoio da cor e tonalidade, textura, forma e a assinatura espectral da paisagem; esse procedimento foi realizado para definir a vegetação remanescente e outros usos e cobertura da terra para os anos de 1986, 2006 e 2016.

Após a coleta de amostras na imagem, realizou-se a classificação das imagens de forma supervisionada, utilizando o algoritmo por Máxima Verossimilhança Gaussiana; este, por sua vez, utiliza apenas a informação espectral de cada pixel (em cada banda espectral) para agrupar regiões homogêneas. Segundo Crósta (1993), para a obtenção de um bom resultado com esta classificação, é necessária a escolha de um número razoavelmente elevado de pixels para cada amostra de treinamento da classe, e que estes tenham uma distribuição estatística próxima da distribuição normal.

Para elaborar os mapas finais de degradação de APPs em 1986, 2006 e 2016, realizou-se o cruzamento do mapeamento dos remanescentes de vegetação dos respectivos anos com os *buffers* de APP, ou seja, elaborou-se uma máscara do vetor APP (obedecendo a legislação), que foi sobreposta aos remanescentes de vegetação de forma que restou a vegetação remanescente pertencente às APPs, bem como os locais ocupado por outros usos.

Com o objetivo de obter o déficit ambiental (área desmatada) nas APPs, bem como identificar o uso responsável pela degradação no ano de 2016, realizou-se a sobreposição do mapeamento de uso e cobertura do solo (elaborado por Lima et al., 2017), com as regiões destinadas a preservação segundo a legislação de APPs referente às margens dos recursos hídricos da RMG. A elaboração do mapa de uso e cobertura do solo para o ano de 2016 foi realizada a partir de imagens do sensor OLI do satélite Landsat-8. Contemplando as seguintes classes: agricultura, área urbana, vegetação remanescente, corpos hídricos e pastagem (LIMA et al., 2017).

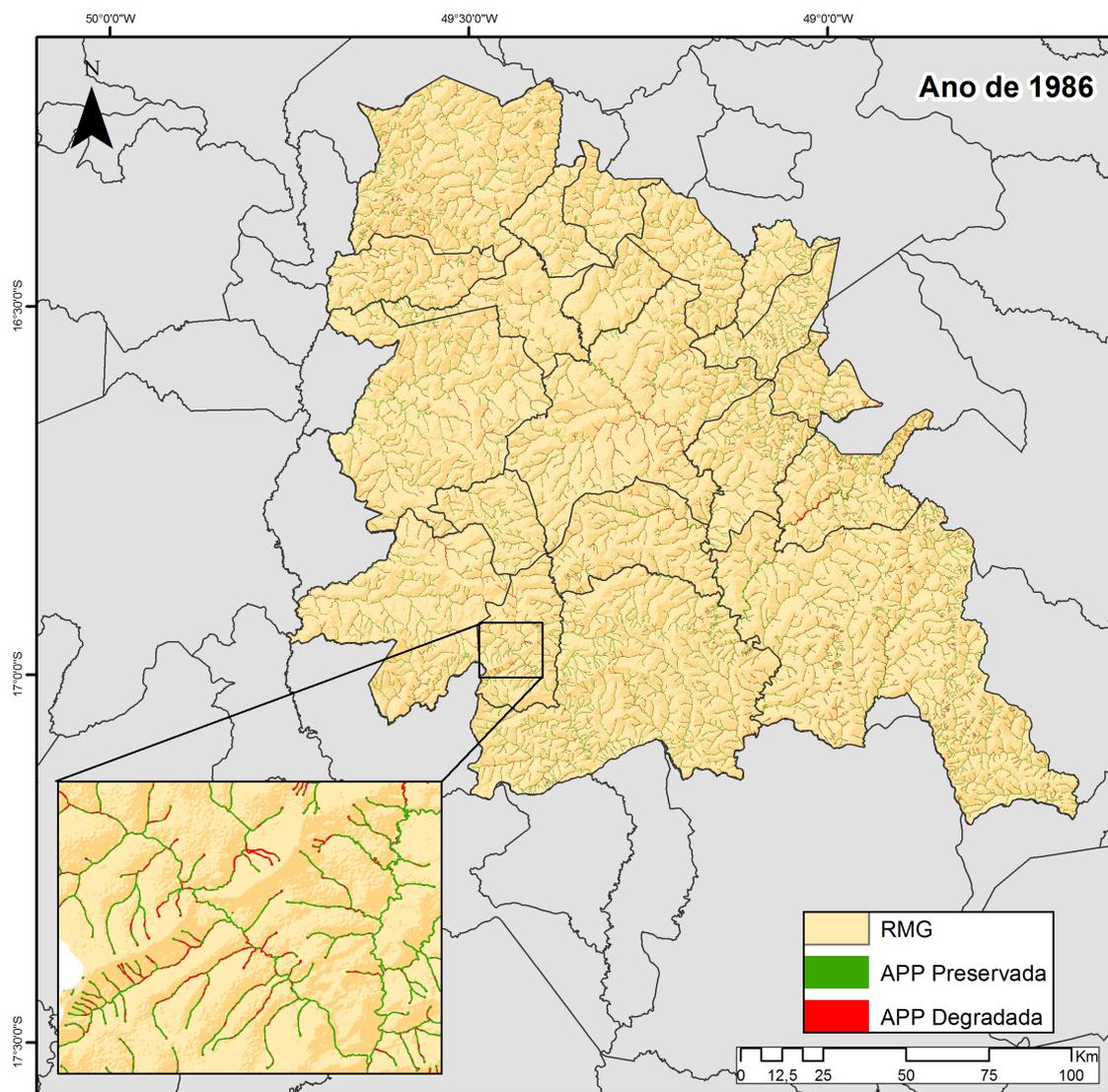
### **3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A Região Metropolitana de Goiânia apresenta uma grande quantidade de nascentes e corpos hídricos, conforme pode ser observado na Figura 1, com um total de 44.977,60 ha de APPs ao longo dos cursos hídricos, conforme os limites estabelecidos pela Lei 12.651/2012.

Após a classificação das imagens (remanescentes e outros usos) realizadas com o objetivo de verificar a situação das APPs ao longo dos cursos d'água da Região

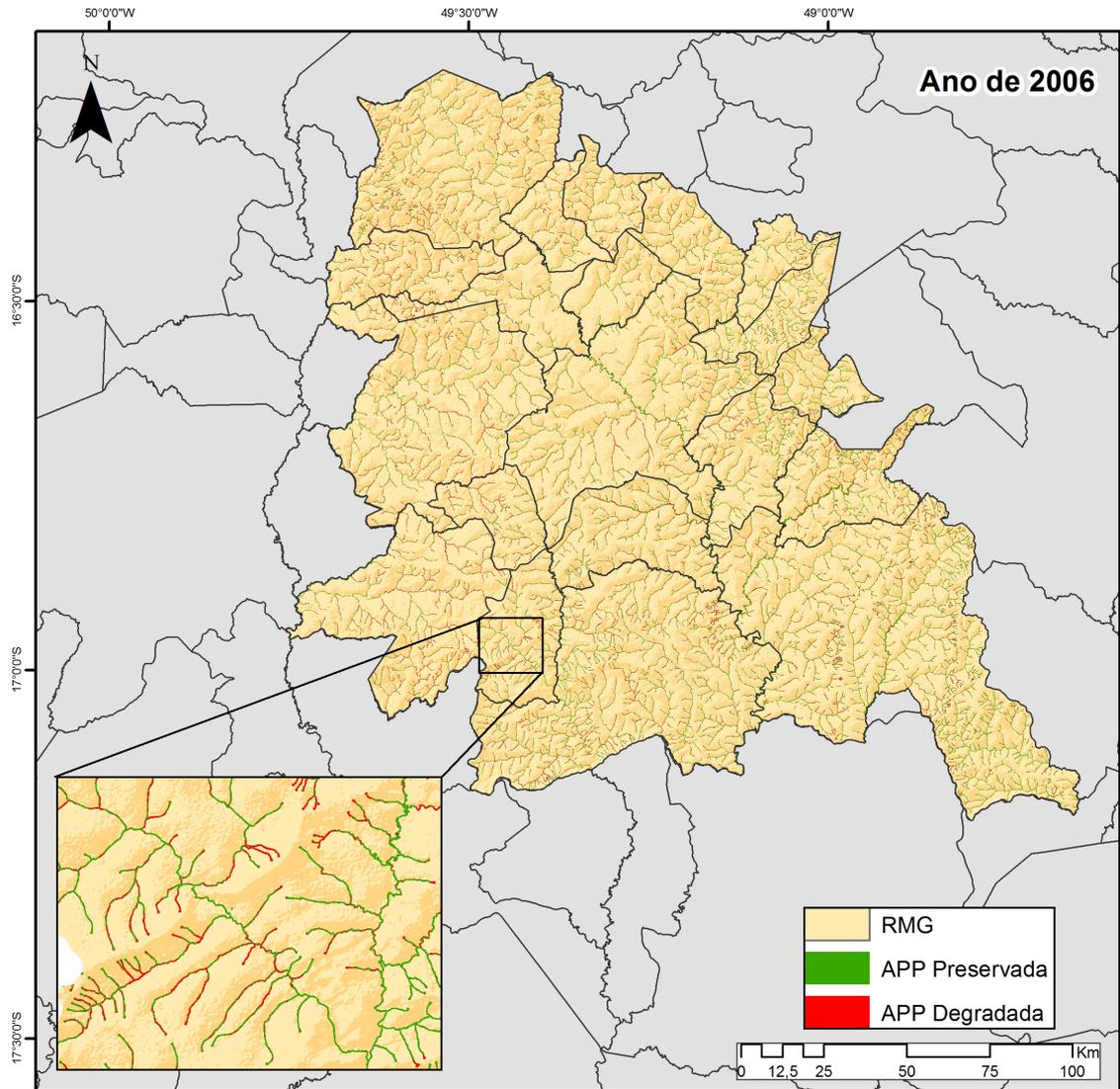
metropolitana de Goiânia, foi possível identificar a situação das áreas de preservação permanente, isto é, se preservadas (quando sobrepostas com remanescente de vegetação nativa) ou degradadas (se sobrepostas com áreas convertidas) para os anos de 1986, 2006 e 2016.

Na Figura 3 observa-se os remanescentes de vegetação localizados ao longo dos cursos hídricos, bem como os locais que não obedecem a legislação quanto à APPs. Infere-se do mapeamento que 74,63% das APPs estão preservadas no ano de 1986, ou seja, estão de acordo com a legislação vigente.



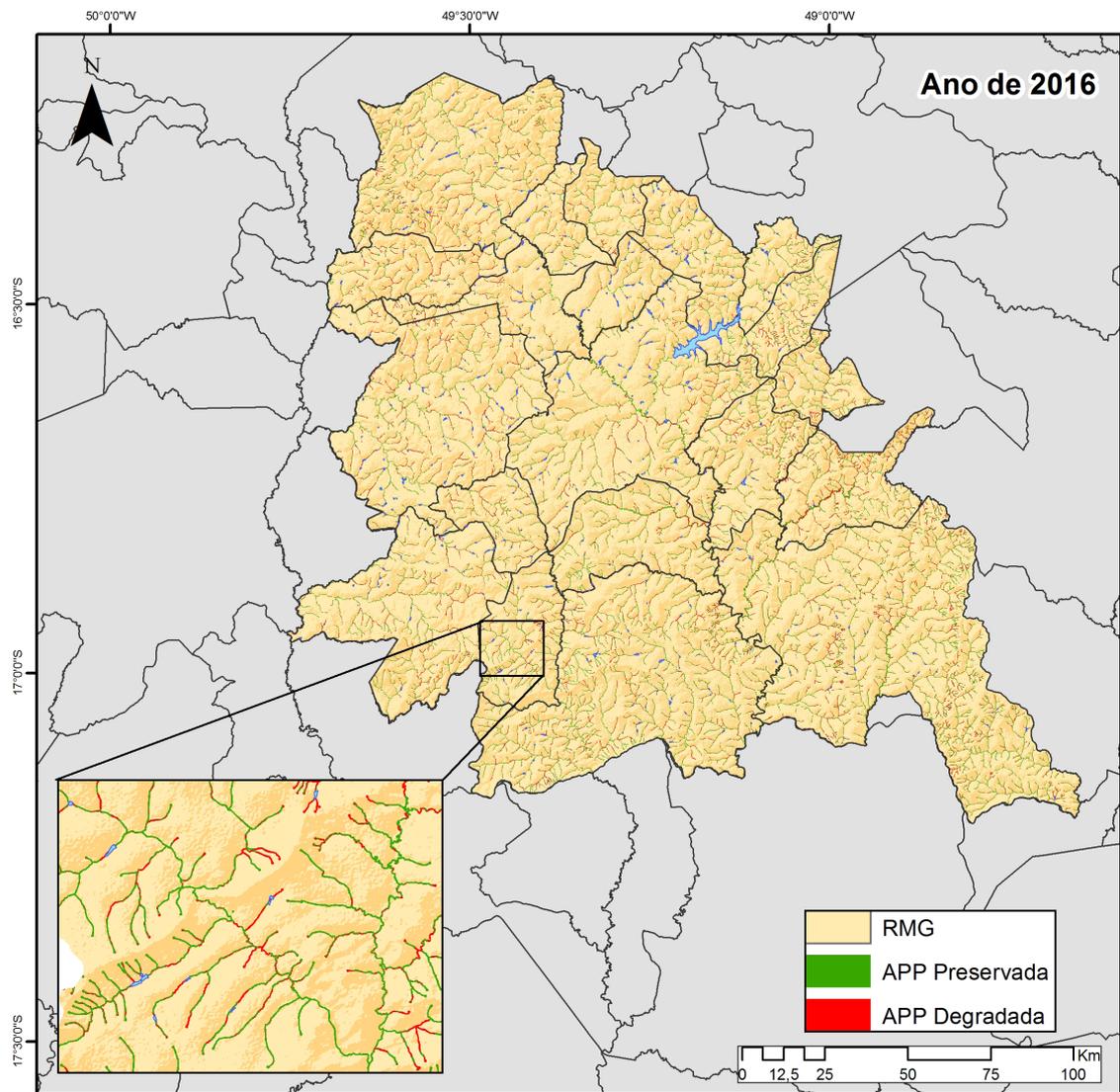
**Figura 3** - Situação das APPs (1986).

Na figura 4 consta o mapeamento das APPs para o ano de 2006, observa-se o aumento da degradação. A degradação nas zonas ripárias aumentou em 1.731,89 hectares, o que corresponde a um aumento de 5,16% se comparado ao ano de 1986. O total de área degradada foi de 29,22% , e de áreas preservadas foi de 70,78% das APPs consideradas no estudo (Tabela 1).



**Figura 4 - Situação das APPs (2006).**

Enquanto que, na figura 5, observa-se a situação das APPs no ano de 2016, onde a área preservada foi reduzida para 29.819,10 ha (66,30%) e a área degradada aumentou para 15.158,50 ha (33,70%) (Tabela 1). Ou seja, houve um avanço de 6,36% na degradação das Áreas de Preservação Permanente em cursos hídricos e nascentes na RMG, no período de 30 anos (considerando o período entre 1986 e 2016).



**Figura 5** - Situação das APPs (2016).

Na Tabela 1 pode ser observado, em resumo, a comparação entre os anos de 1986, 2006 e 2016 quanto a situação dos remanescentes de vegetação localizados em APPs.

Ano	APP preservada (ha)	(%)	APP degradada (ha)	(%)
1986	32.679,05	72,66%	12.298,55	27,34%
2006	31.836,34	70,78%	13.141,26	29,22%
2016	29.819,10	66,30%	15.158,50	33,70%

**Tabela 1** - Situação das APPs na RMG nos anos de 1986, 2006 e 2016.

**Fonte:** Landsat-5 TM (anos 1986 e 2006) e Landsat-8 OLI (ano 2016, conforme Lima et al. (2017))

Ao realizar a sobreposição de dados entre as APPs degradadas de 2016 com o uso do solo de 2016, obtido por Lima et al. (2017), foram obtidos os principais usos responsáveis pelo desmatamento da APP, conforme listado na Tabela 2.

Uso	Área (ha)	%
Agricultura	486,96	3,21
Área Urbana	996,64	6,57
Pastagem	13.674,89	90,21

**Tabela 2** – Contribuição do Uso do Solo para Degradação de APPs na RMG em 2016.

Fonte: Lima et al., (2017).

A Pastagem é a classe de uso do solo que mais contribui para a degradação das áreas de preservação permanente na RMG. Ou seja, mais de 90% das APPs degradadas estão incididas sobre pastagem, correspondendo a 13.674,89 ha. A área urbana degrada aproximadamente 7% e a classe de Agricultura próximo de 3% das APP na RMG.

Assim o uso do solo é importante para identificar qual atividade está mais impactando ou degradando a APP. Dessa maneira, constatou-se que a pastagem é a de maior influência dentro da RMG. Em termos municipais, Bela Vista de Goiás possui maior quantidade de APPs degradadas, com 17,28%, seguido por Hidrolândia, com 12,75%, e Trindade, com 9,94%. Goiânia está em quinto lugar, com 8,02 % de APP degradada, e Santo Antônio de Goiás, em último lugar, com 0,88%, conforme visualizado na tabela 3.

Município	Área (ha)	%	Município	Área (ha)	%
Bela Vista de Goiás	2.619,53	17,28	Aparecida de Goiânia	459,38	3,03
Hidrolândia	1.933,33	12,75	Goianira	404,86	2,67
Trindade	1.507,50	9,94	Aragoiânia	390,46	2,58
Inhumas	1.278,48	8,43	Nerópolis	353,27	2,33
Goiânia	1.215,61	8,02	Abadia de Goiás	306,37	2,02
Guapó	979,72	6,46	Bonfinópolis	301,67	1,99
Caldazinha	957,37	6,32	Nova Veneza	200,67	1,32
Senador Canedo	684,38	4,51	Terezópolis de Goiás	187,16	1,23
Caturaí	572,69	3,78	Brazabrantes	162,57	1,07
Goianópolis	510,71	3,37	Santo Antônio de Goiás	132,79	0,88

**Tabela 3** – Desmatamento das APP na RMG por Município – 2016

Esses resultados coincidem com outras pesquisas que discutiram a problemática do uso do solo na RMG e a influência em áreas de preservação permanente, como Silva e Ferreira (2011), que identificaram que 54,18% das APP da RMG estavam ocupadas irregularmente, onde a pastagem ocupava maior parte do território, os resultados desse trabalho também levaram em consideração outras modalidades de APP como as situadas em alta declividade e topos de morros.

Alguns autores abordam outras atividades impactantes sobre a vegetação remanescente na RMG como: Moysés e Borges (2007 e 2009) que analisam a dinâmica

da paisagem da região metropolitana urbana sobre a ótica do mercado imobiliário e seus impactos; outra atividade com potencial para redução de áreas de preservação seria a indústria, apresentado por Sabóia (2013) que realiza um resgate sobre o processo de desconcentração industrial brasileiro e a chegada da mesma no Cento Goiano. Nessa mesma perspectiva Faria e Cunha (2010), analisa a implementação dos distritos industrial do Centro Goiano e a sua importância econômica para a região.

Sobre a ótica do Estado Brasileiro e suas ações protetivas/lesivas ao mesmo ambiente, em especial as APP, podemos inferir que uma das possíveis causas do aumento do desmatamento a partir de 2012, foi a redução do tamanho da APP com a aprovação da Lei 12.651/2012, em substituição à Lei 4.771/1965. Essa reduziu de 50 m para 30 m em curso d'água com até 10 m, enquanto que nas nascentes foi de 100 m para 50 m. Metzger (2010) apresenta as dúvidas sobre o tamanho das APP e os potenciais prejuízos ao patrimônio biológico e genético brasileiro.

A degradação da área de preservação permanente, principalmente no entorno das nascentes, impacta todo o sistema natural estando ligado a outros tipos de impactos ocorridos na RMG. De Rubin et. al. (2008) e Nascimento (1994) apontam a ocorrência de erosões urbanas em municípios da região metropolitana de Goiânia. Rego e Barros (2014), Santos e Romão (2010) apresentam locais com ocorrência de alagamentos na RMG e os problemas decorrentes desse impacto ambiental. Carvalho e De Siqueira (2010) apresentam estudo sobre qualidade d'água do Rio Meio Ponte da RMG apontando para indicadores fora da faixa para rio Classe 2. Cunha e Borges (2015) apresenta estudos sobre os riscos de desabastecimento de água na RMG.

#### **4 | CONCLUSÃO**

As áreas de preservação permanente possuem fundamental função ambiental. Quando estão preservadas, elas garantem a proteção e manutenção dos recursos hídricos, a conservação da diversidade de espécies de plantas e animais, além de controlar a erosão do solo e, conseqüentemente, o assoreamento e poluição dos cursos d'água. Contudo, são áreas frágeis, onde a degradação compromete o desempenho de suas funções, principalmente a de manter o volume e a qualidade dos aquíferos e cursos d'água; tal fato traz conseqüências negativas para a população que habita a região desmatada, como também para boa parte da bacia hidrográfica que é alimentada por essas águas.

Portanto, é necessário a tomada de medidas que visem a recuperação das áreas de preservação permanente degradadas, bem como conscientização da população sobre a necessidade de se preservar as áreas frágeis no entorno das nascentes e cursos d'água.

Por fim, as ferramentas de SIG e Sensoriamento remoto são de fundamental importância para a identificação e quantificação de áreas de preservação permanente

e sua devida ocupação do solo. Imagens de satélite, com baixa ou média resolução espacial podem ser complementadas com imagens de VANT, para um preciso mapeamento e diagnóstico das APPs na região metropolitana de Goiânia.

## REFERÊNCIAS

BRASIL, Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Código Florestal Brasileiro**. Diário Oficial, Brasília, 25 mai. 2012.

CARVALHO, Glaucia Lemes; DE SIQUEIRA, Eduardo Queija. Qualidade da água do Rio Meia Ponte no perímetro urbano do município de Goiânia-Goiás. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 2, n. 1, 2010

CHAGAS FARIA CUNHA, Wânia. Contexto socioeconômico de Goiás na década de 1970 e a adoção da política de industrialização via distritos industriais. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 30, n. 1, 2010.

CRÓSTA, A. P, **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**, Campinas, SP, UNICAMP, ed. rev., 1993.

CUNHA, D. F.; BORGES, E. M. Urbanização acelerada: risco para o abastecimento de água na Região Metropolitana de Goiânia. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 26, 2015, p. 226-244

DE RUBIN, Julio Cezar Rubin et al. Amostragem dos Depósitos Tecnogênicos associados ao Rio Meia Ponte na área urbana de Goiânia-GO. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 9, n. 2, 2008.

FERREIRA, M. E.; FERREIRA JR, L. G.; FERREIRA CLEMENTINO, N.; ROCHA, G. F.; NEMAYER, M. **Desmatamentos no bioma Cerrado: uma análise temporal (2001-2005) com base nos dados MODIS - MOD13Q1**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3877-3883.

GREGORY, S.V.; F.J. SWANSON; W.A. McKEE; K.W. CUMMINS. **An ecosystem perspective of riparian zones**. BioScience, 41 (8):540-551, 1992.

KLINK, C.A.; MACHADO, R.B. **Conservation of the Brazilian Cerrado**. *Conservation Biology*, 2005, **19**, 707–713.

LIMA, G.S.A; FERREIRA, N.C. RIBEIRO, H.J. NOGUEIRA. S.H.M, Simulação de cenários de perda do solo por erosão laminar na região metropolitana de Goiânia. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR) 18, 2017**, Santos-SP, Brasil Anais... São José dos Campos, INPE, p 3656-3663

LIMA, W. P. ; ZÁKIA, Maria José B . Hidrologia de Matas Ciliares. In: Ricardo Ribeiro Rodrigues; Hermógenes de Freitas Leitão Filho. (Org.). **Matas Ciliares: Conservação e Recuperação**. 1ed. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2000, p. 33-44.

MEDEIROS, J. S.; CÂMARA, G. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE-8568-PRE/4312, São José dos Campos, 2001.

Metzger, Jean Paul. O Código Florestal tem base científica? *Natureza & Conservação* 8(1):1-5, 2010

MOYSÉS, Aristides et al. Da formação urbana ao empreendedorismo imobiliário: a nova face da metrópole goianiense. **Mercator-Revista de Geografia da UFC**, v. 6, n. 12, 2007.

MOYSÉS, Aristides; BORGES, Elcileni de Melo. Dinâmica imobiliária e a nova paisagem urbana da RM de Goiânia: o impacto da produção de Alto Nível. **XIII ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓSGRADUAÇÃO E PESQUISA EM PLANEJAMENTO URBANO REGIONAL**, 2009.

MOYSÉS, Aristides; DE MELO BORGES, Elcileni. DINÂMICA DO MERCADO IMOBILIÁRIO POPULAR E SEUS IMPACTOS NA RECONFIGURAÇÃO ESPACIAL DA RM DE GOIÂNIA.

NASCIMENTO, M.A.L.S. Erosões Urbanas em Goiânia. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 14, n. 1, p. 77-101, 1994

RABELO, C. G. FERREIRA, E. F.; ARAÚJO, J. V. G.; STONE, L. F.; SILVA, S. C.; GOMES, M. P. Influência do uso do solo na qualidade da água no bioma Cerrado: um estudo comparativo entre bacias hidrográficas no Estado de Goiás, Brasil. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**: v. 4, n. 2, 2009.

REGO, Thalyta Lopes; BARROS, Juliana Ramalho. Alagamentos e inundações em Goiânia: uma análise a partir da imprensa local e dos registros da defesa civil. **Formação (Online)**, v. 1, n. 21, 2014.

RODRIGUES DOS SANTOS, Kesia; DE ARAÚJO ROMÃO, Patrícia. Espacialização de inundações em Goiânia (GO)(2004-2007). **Boletim Goiano de Geografia**, v. 30, n. 2, 2010.

SABOIA, João. A continuidade do processo de desconcentração regional da indústria brasileira nos anos 2000. **Nova economia**, v. 23, n. 2, p. 219-278, 2013.

SILVA, V. A. da e FERREIRA, N. C. (2011). **Avaliação da ocupação e uso do solo na Região Metropolitana de Goiânia–GO**. Disponível em: <http://www.sbpcnet.org.br/livro/63ra/conpeex/mestrado/trabalhos-mestrado/mestradormarcos-vinicius-alexandre.pdf>. Acesso em 10/01/2018.

## ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DA ÁREA URBANA DE UM TRECHO DO RECIFE E REGIÃO METROPOLITANA ATRAVÉS DE ORTOFOTOCARTAS ANTIGAS E IMAGEM DO GOOGLE EARTH

**Leonardo Carlos Barbosa**

Universidade Federal de Pernambuco  
Recife - Pernambuco

**Luiz Carlos Barbosa da Silva**

Universidade Federal de Pernambuco  
Recife - Pernambuco

**Laízy de Santana Azevedo**

Universidade Federal de Pernambuco  
Recife - Pernambuco

**RESUMO:** Ao longo dos anos, o sensoriamento remoto permitiu grandes avanços no reconhecimento e mapeamento dos territórios. No planejamento e na tomada de decisões, uma imagem de alta resolução é uma ferramenta muito importante. No entanto, a imagem de alta resolução ainda é uma opção cara no mercado de imagens. Assim, como alternativa a este problema, o presente artigo mostrará uma análise espaço temporal utilizando ortofotocartas antigas do ano de 1974 obtidas na CONDEPE / FIDEM e uma imagem recente do Google Earth georreferenciada com as coordenadas das ortofotocartas. A escala ortofoto é de 1: 10.000 e o sistema de referência é SAD 69. A área de estudo foi um trecho de limite entre os municípios de Camaragibe e Recife, localizados no estado de Pernambuco, devido à notória expansão da área urbana ocorrida em nos últimos anos. Para a análise, utilizou-se a

versão estudantil do software AutoCad 2016, ArcGis 10.1 e a versão do Google Earth Client. A partir da comparação entre as imagens foi possível diagnosticar mudanças ocorridas na área determinada. Observou-se que a área urbana estudada triplicou de tamanho e isso implica em uma diminuição significativa da área de cobertura vegetal. Sendo assim, percebemos que a análise espaço temporal de uma região é extremamente importante, pois pode auxiliar no processo de planejamento urbano.

**PALAVRAS-CHAVE:** análise temporal, processamento de imagem, ortofoto, fotointerpretação.

**ABSTRACT.** Over the years remote sensing has allowed great advances in the recognition and mapping of territories. In planning and decision making, a high resolution image is a very important tool. However, high-resolution image is still an expensive option in the imaging market. Thus, as an alternative to this problem, this article will show a temporal space analysis using old orthophotographs from the year 1974 obtained from CONDEPE / FIDEM and a recent image of Google Earth georeferenced with the coordinates of the orthophotos. The orthophoto scale is 1: 10,000 and the reference system is SAD 69. The study area was a stretch of the border between the municipalities of Camaragibe and Recife, cities located in the

state of Pernambuco, due to the notorious expansion of urban area occurred in recent years. In the analysis were used Software AutoCad 2016 student version, ArcGis 10.1 and Google Earth Client version. From the comparison between the images it was possible to diagnose the changes that occurred in the determined area. It was observed that the urban area that was studied tripled in size and this implies in a significant decrease of the area of vegetal cover. Therefore, we realize that the temporal space analysis of a region is extremely important because it can aid in the urban planning process.

**PALAVRAS-CHAVE:** temporal analysis, image processing, orthophoto, Photointepretation

## 1 | INTRODUÇÃO

O Brasil apresentou um rápido processo de urbanização no século XX, sobretudo, a partir da década de 1960. Segundo Silva e Macêdo (2009), a população urbana brasileira em números absolutos em 1940 era de 18,8 milhões de habitantes e em 2000 aproximadamente 138 milhões.

A partir dos dados disponibilizados pelo Censo 2010 do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), é possível ver que o município do Recife está crescendo da mancha urbana em direção a periferia. Entre os anos de 2000 e 2010 a região metropolitana teve um crescimento populacional de aproximadamente 2,5% ao ano e isso implica na necessidade de novas moradias.

O crescimento nas áreas periféricas do Recife não contou com um planejamento adequado que aliasse a atenção às novas demandas construtivas com a manutenção das áreas verdes. A consequência inevitável para essa falta de planejamento foi uma redução da vegetação na cidade, como é dito em Alfonsin (2007).

Ao longo dos anos, autores como Copque et. al. (2015) e Silva et. al. (2016) fizeram diversas contribuições de análises qualitativas e quantitativas para a Região Metropolitana do Recife. Através de suas contribuições podemos ver que as imagens do Google Earth aliadas a uma base Cartográfica são úteis para a elaboração de vários produtos cartográficos.

Neste trabalho foram utilizadas ortofotocartas de 1974 fornecidas pela CONDEPE/FIDEM e imagens do Google *Earth* do ano de 2016. A escala da ortofoto é 1:10.000 e o sistema de referência é o SAD 69, já a imagem de Google foi georreferenciada com as coordenadas das quadriculas das ortofotos.

Através de comparação entre a ortofoto e a imagem do Google é possível diagnosticar mudanças ocorridas em uma determinada área, além de auxiliar no processo de planejamento urbano e tomada de decisão. Nesse contexto, o presente artigo tem como objetivo fazer uma análise espaço temporal de um trecho localizado na divisa das cidades do Recife e Camaragibe.

## 2 | METODOLOGIA DO TRABALHO

A metodologia envolve produtos fotogramétricos e uso de softwares específicos. Na figura 1 é mostrado o passo a passo para o desenvolvimento do trabalho.

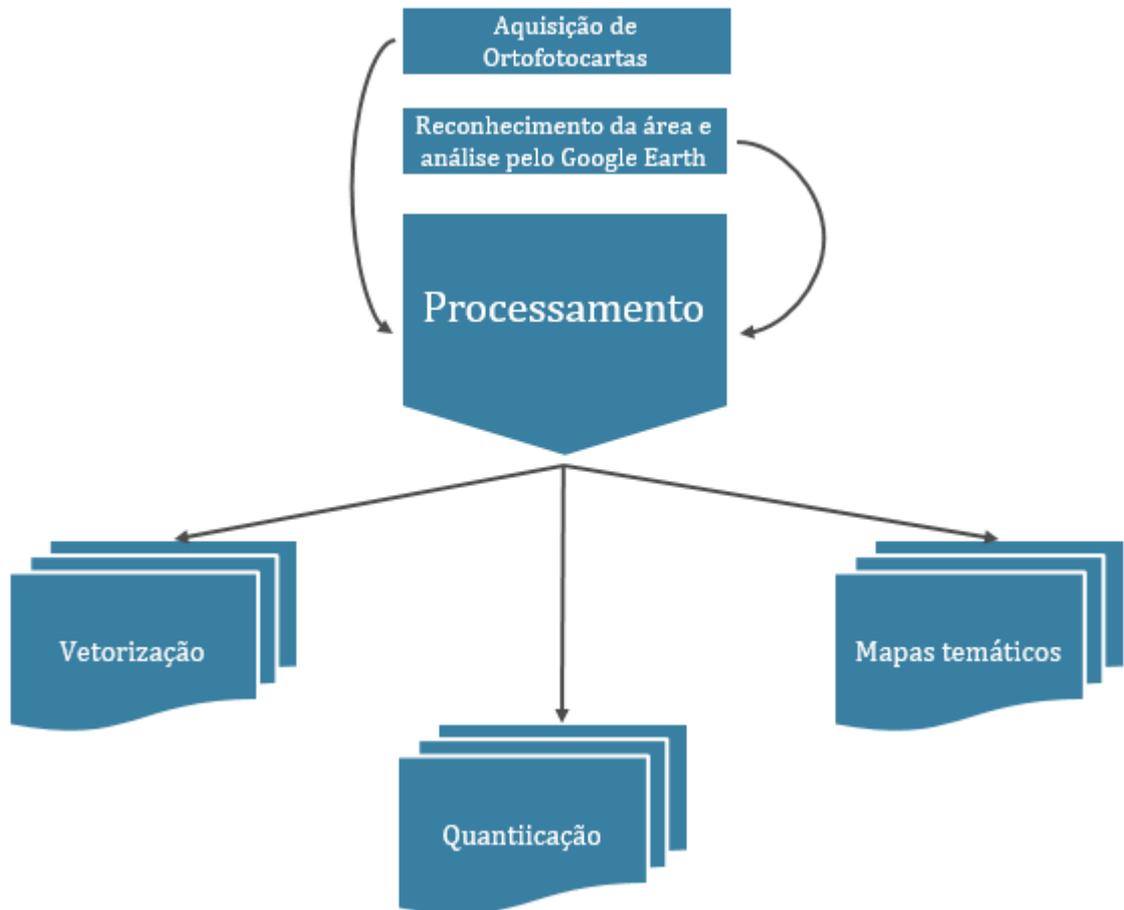


Figura 1. Fluxograma das atividades desenvolvidas.

### 2.1. Aquisição de Ortofotocartas Antigas

Foram adquiridas 4 Ortofotocartas na escala 1:10.000 do ano de 1974 junto a Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco – CONDEPE/FIDEM. De posse desse material, foram feitos o georreferenciamento das 4 ortofotos usando as coordenadas das próprias quadrículas através do ArqGis 10.1 com 4 pontos de controles implantados. Na Figura 2 é mostrado o mosaico das imagens que recobrem as periferias dos municípios do Recife, Camaragibe, Abreu e Lima e Paulista com uma área total de 100 km<sup>2</sup> sendo 25 km<sup>2</sup> para cada ortofoto.

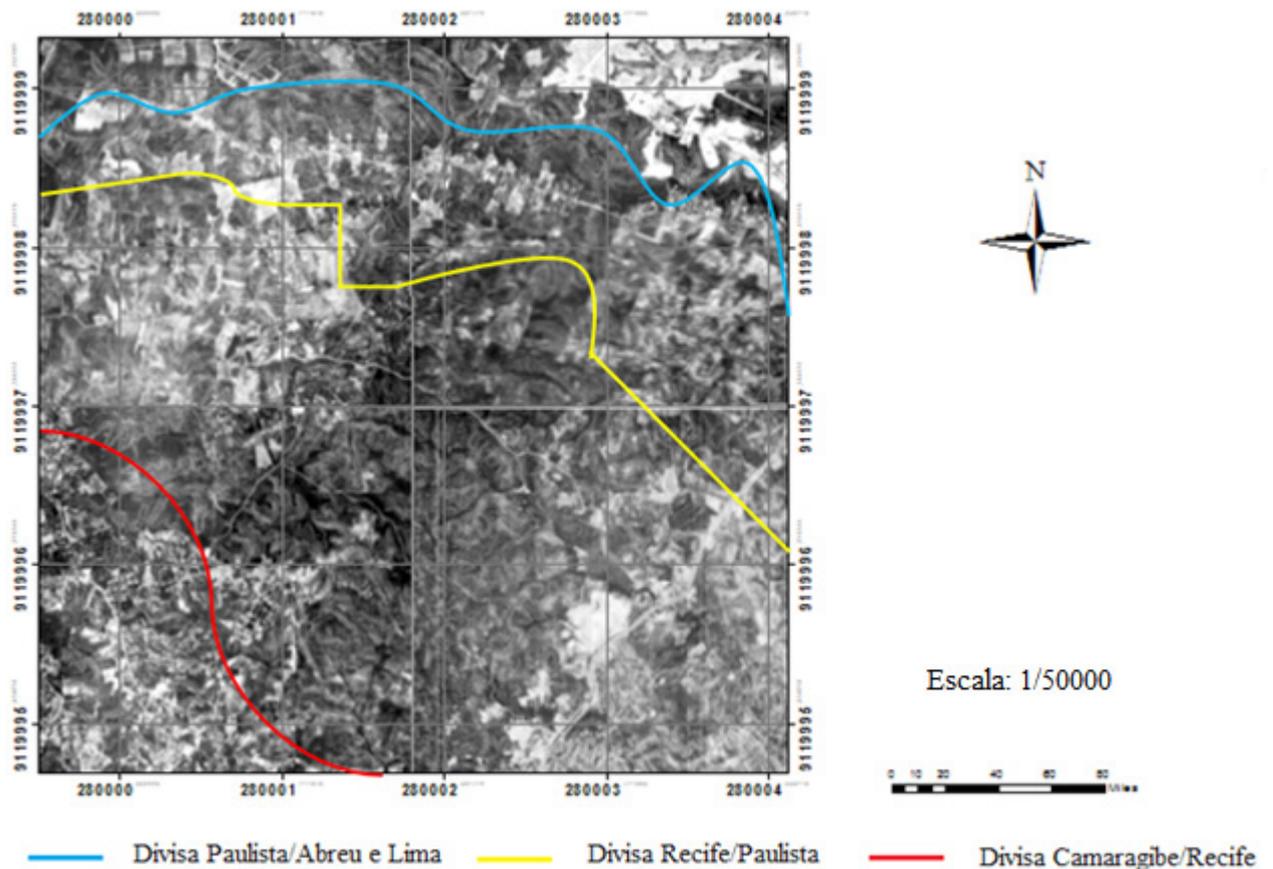


Figura 2. Mosaico das 4 ortofotos adquiridas.

## 2.2. Reconhecimento da Área e Análise pelo Google Earth

Para fazer a análise temporal, foi escolhido apenas uma área do mosaico referente a ortofoto de número 8105 com coordenadas superior: (280000 E 9120000 N; 285000 E 9120000 N) e inferior: (280000 E 9115000 N; 285000 E 9115000). Esta área foi escolhida por que faz parte do bairro da Guabiraba que está em expansão nos últimos anos com chegada de indústrias e conseqüentemente novas moradias.

O bairro da Guabiraba é considerado o pulmão verde da capital pernambucana por sua extensa área de vegetação. Possui área de 42 km<sup>2</sup>, sendo maior que o município de Olinda. Na Figura 3 é mostrado a área de recobrimento da ortofoto 8105.

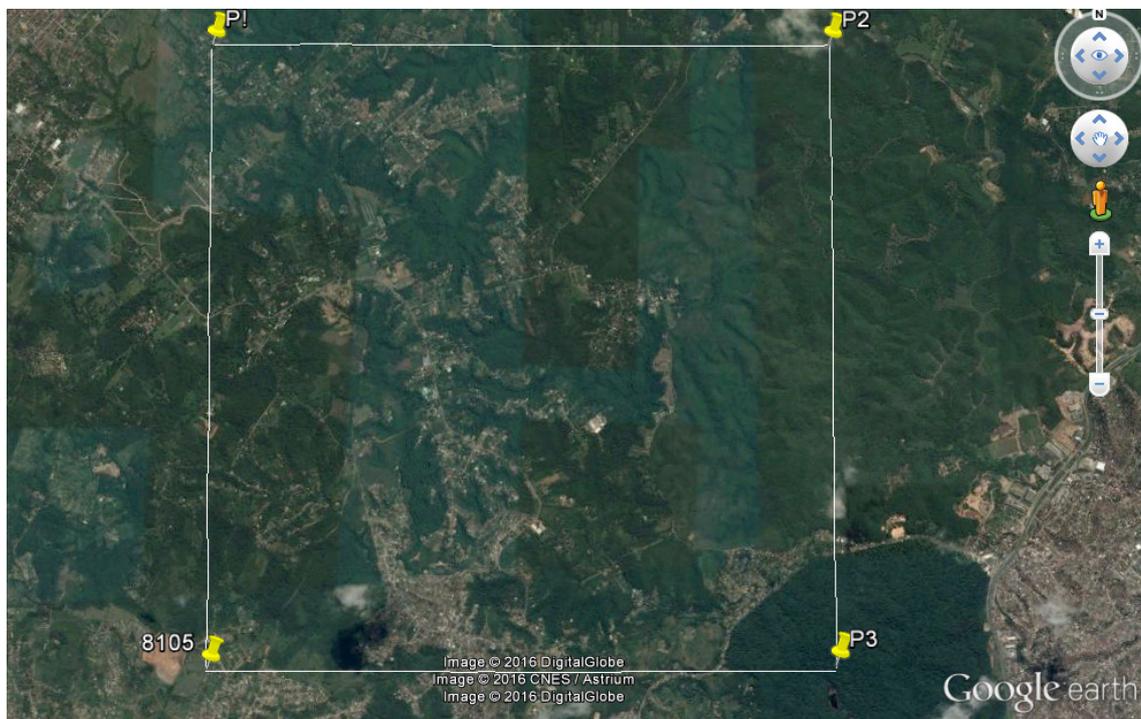


Figura 3. Delimitação da área de estudo.

### 2.3. Processamento

A imagem da Figura 3 foi recortada e georreferenciada no Arcgis 10.1 usando as coordenadas das quadriculas da ortofoto 8105 com 4 pontos de controles. Durante o georreferenciamento a função *Auto Adjust* foi ativada para garantir o perfeito controle dos erros. Os valores dos resíduos e desvio padrão podem ser vistos na Figura 4.

Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
1	1,840833	25,770396	-43,000000	-12,500000	0,00014283	1,77406e-006	0,000142841
2	22,888519	3,957250	-42,500000	-13,000000	0,000142992	1,77606e-006	0,000143003
3	23,087041	25,587609	-42,500000	-12,500000	-0,000142828	-1,77404e-006	0,000142839
4	1,666591	4,140135	-43,000000	-13,000000	-0,000142994	-1,77609e-006	0,000143005

Total RMS Error: Forward:0,000142922

Auto Adjust      Transformation: 1st Order Polynomial (Affine)

Figura 4. Controle de qualidade do georreferenciamento no ArcGis 10.1.

### 2.4. Vetorização

Para a área de estudo, foram estabelecidos planos de informações classificados como área urbana e cobertura vegetal. A área urbana é composta pelo conjunto da urbanização, homogeneizando diversos tipos de construções. O segundo plano de informação compreende a cobertura vegetal com vegetação em área contínua sem identificação específica de tipo ou estrato, levando em consideração apenas as manchas

representativas. Esse conjunto de procedimentos possibilitou a interação entre as técnicas tradicionais de análise espacial e as modernas ferramentas computacionais, possibilitando análises mais precisas e adequadas à realidade tecnológico-científica atual. A partir deles chega-se a representações cartográficas que possibilitam análises bem detalhadas da área de estudo. O processo de vetorização foi feito no software AutoCad 2016 versão estudantil.

## 2.5. Quantificação

A partir das vetorizações feitas nas imagens, foi possível calcular as áreas de vegetação e áreas urbanas para os anos de 1974 e 2016. Na Tabela 1 é mostrado a quantificação dos resultados encontrados e na Figura 5 é mostrado um gráfico com os valores.

Ano	Área urbana Km <sup>2</sup>	Cobertura vegetal Km <sup>2</sup>	Área total Km <sup>2</sup>
1974	4,5	20,5	25
2016	13,2	11,8	25

Tabela 1. Áreas verdes e área urbana.

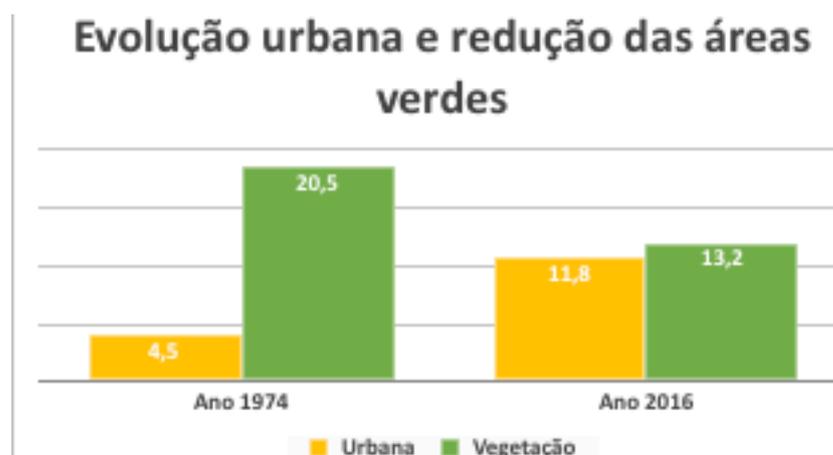


Figura 5. Gráfico comparativo em km<sup>2</sup> nos anos 1974 a 2016.

O gráfico mostrado na Figura 5 mostra a grande mudança ocorrida nos últimos 42 anos. Já na Tabela 2, é mostrada as variações percentuais no mesmo período de tempo.

Ano	Área urbana (%)	Cobertura vegetal (%)	Diminuição Vegetação (%)
1974	18	82	
2016	52,8	47,2	34,8

Tabela 2. Análise percentual de 1974 a 2016.

## 2.6. Mapas Temáticos

As vetorizações foram exportadas em arquivos do tipo shapefiles e por meio deles foram criados mapas temáticos no ArcGIS que podem ser visualizados na Figura 6.

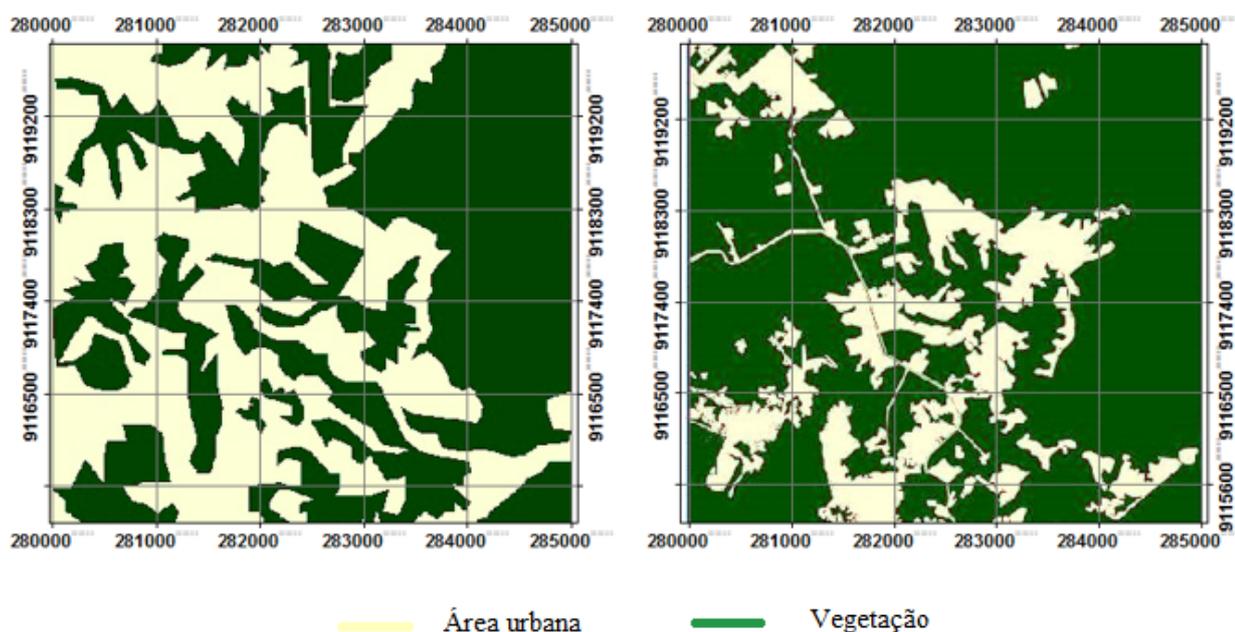


Figura 6. Mapas temáticos. Do lado esquerdo (ano 2016), do lado direito (ano 1974).

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos na interpretação dos temas da área urbana e cobertura vegetal nos anos de 1974 a 2016, mostram o quanto a mancha urbana avançou sobre a cobertura vegetal bem como a evolução do adensamento da ocupação na periferia do limite entre Recife e Camaragibe. Essa ocupação ocorreu de forma desordenada e sem planejamento por parte do poder público em suas diversas esferas. Nos mapas gerados é possível observar a evolução do uso e ocupação do solo na área estudada visto na Figura 6.

No ano de 1974, só havia na região de estudo pequenas propriedades rurais representando apenas 18 % da mancha urbana sob os 25km<sup>2</sup> representados pela Ortofoto. A área de mata fechada representava em 1974 aproximadamente 82% do total. Com o passar do tempo, podemos ver que em 2016 o valor de área urbana teve um crescimento e passou de 18% para 52,8 % em 42 anos. Os motivos pelos quais se deu esse crescimento são muitos. Sabemos que a cada ano a população aumenta e que as cidades passam por diversas transformações ao longo do tempo, porém, o crescimento periférico no município do Recife acarreta uma série de problemas. Com a escassez de lotes regularizados e cadastrados, a população acaba construindo

casas em locais proibidos, muitas vezes, em áreas de riscos ou invadindo terrenos nas zonas rurais como é o que vem acontecendo na região estudada neste trabalho.

## 4 | CONCLUSÕES

Quase 45% dos 222,93 km<sup>2</sup> do Recife são tomados por áreas verdes. Com população de 1,5 milhão de pessoas (contabilizada em 2010 pelo IBGE), a densidade de verde para cada morador do Recife é alta: quase 65 mil m<sup>2</sup> de vegetação por habitante. O problema é que quase metade de toda a cobertura verde da capital concentra-se numa única região, na parte Norte, formada por bairros como Guabiraba e o vizinho Pau-Ferro, esses dois são os principais responsáveis pela alta taxa de arborização do Recife. Com o nosso estudo feito exclusivamente nesta área, pode-se concluir que a perda das áreas verdes existentes implica simultaneamente na perda da qualidade de vida dos habitantes. Apesar do índice de área verde por habitante encontrado ainda ser considerado alto, observa-se uma redução de mais de 30% da vegetação na área da ortofoto estudada. Esses números são alarmantes e precisam ser controlados pelo poder público.

Em relação ao uso do Google Earth, ele é uma boa ferramenta para a obtenção de imagens de alta resolução espacial. A sua principal vantagem, é que ele reúne imagens com alta resolução gratuitamente. Contudo, devem ser realizados os procedimentos de processamento de imagem corretos usando ferramentas de um SIG para a obtenção de melhores resultados.

A base cartográfica e os mapas temáticos gerados podem contribuir como estudo de caso para diagnósticos futuros e mais abrangentes, indicando um método de avaliação e crítica sobre possíveis consequências da deficiência no planejamento urbano ou de um planejamento com prioridades equivocadas. Portanto, pode-se notar a falta de controle e fiscalização urbana e uma efetiva atuação política no que concerne ao uso e ocupação do solo na localidade.

## REFERÊNCIAS

ALFONSIN, B. de M. **O significado do Estatuto da Cidade para os processos de regularização fundiária no Brasil**. In: Rolnik, Raquel et al (Org.). Regularização Fundiária Plena: Referências Conceituais. Ministério das Cidades. Brasília-DF, 2007, p. 86-93.

IBGE. **Censo Demográfico 2010 – Características Gerais da População. Resultados da Amostra**. IBGE, 2012. Disponível em: < [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default\\_populacao.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default_populacao.shtm) >. Público. Acesso em 15 de outubro de 2016.

COPQUE, A. C. S. M.; SOUZA, F. A.; SANTOS, D. V. C.; PAIXÃO, R. C. **Expansão urbana e redução de áreas verdes na localidade do Cabula VI Região do miolo da cidade do Salvador, Bahia**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2011, Curitiba. Anais. São José dos Campos, INPE: 2011. Artigos, p 0313. Disponível em: < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0313.pdf> >. Acesso em: 15 de novembro de 2016

SILVA, C. F. A.; BARRETO, E. P.; SCHULLER, C. A. B.; FERREIRA, B.; MELO, W. D. A. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 02, p. 319-333, 2016.

SILVA, R. C. N.; MACÊDO, C. S. **A urbanização Brasileira**. Disponível em: [http://www.ead.uepb.edu.br/arquivos/cursos/Geografia%20%20Reing/Geografia%20Urbana/Geo\\_Urb\\_A05\\_WEB\\_ZBM\\_SF\\_SI\\_SE\\_161209.pdf](http://www.ead.uepb.edu.br/arquivos/cursos/Geografia%20%20Reing/Geografia%20Urbana/Geo_Urb_A05_WEB_ZBM_SF_SI_SE_161209.pdf). Acesso em: 15 de novembro de 2016.

SOUZA, H. L. S.; CANDEIAS, A. L. B.; SCHULLER, C. A. B. **Análise das áreas de risco a partir de produtos fotogramétricos e dados da Defesa Civil no bairro da Macaxeira – Recife/PE**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2015, João Pessoa. Anais. São José dos Campos, INPE: 2015. Artigos, p 0432. Disponível em: < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0432.pdf> >. Acesso em: 15 de novembro de 2016.

## ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DE PARTE DE BAIRRO NOVO – OLINDA ENTRE 1986 A 2014 UTILIZANDO ORTOFOTOCARTA E ORTOFOTOS

### **Júlio César Albuquerque Simões Belo**

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE,  
Departamento de Engenharia Cartográfica –  
Decart  
Olinda – Pernambuco

### **Mirelly de Oliveira Farias**

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE,  
Departamento de Engenharia Cartográfica –  
Decart  
Recife – Pernambuco

### **Carlos Alberto Borba Schuler**

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE,  
Departamento de Engenharia Cartográfica –  
Decart  
Recife – Pernambuco

**RESUMO.** Este projeto tem como finalidade expor uma pesquisa relacionada à análise espaço temporal do Bairro Novo, na cidade de Olinda no estado de Pernambuco. Com o apoio do Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE. Foram utilizadas técnicas de fotointerpretação e fotogrametria, para desenvolver a metodologia empregada. Na fotointerpretação visual utilizamos elementos de reconhecimento, os quais servem de fatores guia no processo de reconhecimento e identificação dos alvos na superfície terrestre por meio de uma fotografia aérea ou imagem de satélite, no presente trabalho foram utilizadas ortofotocartas via arquivo digital, obtidas na CONDEPE/FIDEM

no período de Maio à Junho de 2016 e seguido da obtenção das ortofotos na COMPESA - Companhia Pernambucana de Saneamento - no mesmo período. A ortofotocarta se encontra na escala 1:10.000 e datum SAD 69 na época de 1986. A ortofoto disponibilizada se encontra no datum SIRGAS 2000 na época de 2014. Tais materiais constituem a base cartográfica utilizada no estudo. Já os elementos básicos de fotointerpretação visual, são a tonalidade e cor, forma e tamanho, padrão, textura, associação e sombra. Trabalhos que visem fazer análise espaço-temporal são importantes pois fornecem diagnósticos dessas alterações por meio da obtenção de dados estatísticos e qualitativos sobre a evolução de uma determinada área, além de auxiliar também no processo de planejamento urbano que é de vital importância para tomada de decisões sobre o meio físico.

**ABSTRACT.** This project has the purpose of exposing a research related to analysis of the temporal space of the Bairro Novo, in the city of Olinda on the state of Pernambuco. With the support of the Cartographic Engineering Department of UFPE. Photointerpretation and photogrammetry techniques were used to develop the methodology employed. In the visual photointerpretation we use elements of recognition, which serve as a guide of elements in the process of recognition and

identification of targets on the terrestrial surface by means of an aerial photograph or satellite image. In the present work, digital orthophotographs were obtained from CONDEPE / FIDEM from May to June 2016 and followed by orthophotos obtained at COMPESA - Companhia Pernambucana de Saneamento - Period. The orthophotomap is found in the scale 1: 10,000 on SAD 69 datum in the 1986 epoch. The orthophotos available is found in the SIRGAS 2000 datum in the epoch of 2014. Such materials constitute the cartographic base used in the study, whereas the basic elements of visual photointerpretation are tonality and color, shape and size, pattern, texture, association and shadow. Works that aim to make space-time analysis are important because they provide diagnoses of these changes by obtaining statistical and qualitative data about the evolution of a given area, besides as assisting in the process of urban planning that is of vital importance for decision-making about the physical environment.

**PALAVRAS-CHAVE:** Photointegration, photogrammetry, orthophoto, temporal analysis, fotointepretação, fotogrametria, ortofotocartas, análise temporal.

## 1 | INTRODUÇÃO

Por meio de análise de registros cartográficos, observa-se que a evolução espaço-temporal ao nosso redor se verifica através de alterações na dinâmica urbana devido ao adensamento urbano e que, por sua vez, implica em aumento de edificações, supressão de vegetação e modificação de vias. Segundo último senso do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2015) realizado sobre o município de Olinda, a mesma conta com uma população residente de 377.779 pessoas e em contínuo crescimento ao longo dos anos. Tal crescimento se evidencia pela grande quantidade de edificações. Trabalhos que visem fazer análise espaço-temporal são importantes pois fornecem diagnósticos dessas alterações por meio da obtenção de dados estatísticos e qualitativos sobre essa evolução, além de auxiliar também no processo de planejamento urbano que é de vital importância para tomada de decisões sobre o meio físico.

O importante para entendermos o planejamento urbano é que ele não pode ser restrito a uma disciplina específica. Nesse sentido, o campo se abre para o conhecimento e metodologias que abrangem aspectos da sociologia, da economia, da geografia, da engenharia, do direito e da administração. Duarte (2007).

Nesse sentido, retrata-se o espaço físico por meio de geotecnologias que vão dar suporte na composição de um SIG - Sistema de Informações Geográficas, além de servir de apoio à tomada de decisões rápidas, sendo este um fator bastante relevante também no contexto do cadastro urbano das cidades. Os dados espaciais (pontos, linhas, polígonos e células (pixels)) e tabulares (dados descritivos das entidades espaciais) podem ser obtidos de diversas maneiras através de equipamentos que medem e armazenam os dados sobre a superfície terrestre como receptores GNSS

– Global Navigation Satellite System, estação total, teodolitos e equipamentos como satélites e câmaras áreas que obtém os dados via remotamente. Estes dados são manipulados pelo operador que se encarrega de gerar os produtos cartográficos.

Desta maneira, podem ser realizados estudos na área de conhecimento humano denominada geomática, que, por sua vez, engloba os ramos da ciência fotogramétrica e fotointerpretativa. Na fotogrametria costuma-se dizer que podem ser respondidas as questões que envolvem o aspecto quantitativo dos dados, já na fotointerpretação, o aspecto qualitativo. De acordo com Teng (1997) a interpretação de uma fotografia se dá por meio de observações e entendimento de dez elementos básicos, a saber: tamanho, forma, sombra, tom ou cor, textura, padrão, altura, local, associação e tempo.

A forma de um objeto na fotografia área pode muitas vezes fornecer indicações não só da sua identidade, mas também do seu significado e função, no entanto devemos lembrar que a forma que aparece é a de uma vista aérea, sendo este um dos grandes problemas devido ao fato de se estar acostumado a ver os objetos pelos seus perfis, ou numa visão, oblíqua, e, quando se depara com uma vista aérea, muitas vezes cometem-se erros. Quando se obtém a habilidade de entendimento, principalmente quando se utiliza pares estereoscópicos obtendo a sensação de profundidade. Garcia (1982).

Em seu estudo, Araújo (2005), afirma ainda que ao observar formas com traçados retos e uniformes nas fotografias aéreas, estas representam alguns aspectos antrópicos como casas, estradas, cercas, pois as formas destes objetos construídos pelos homens frequentemente são mais regulares.

O tom é o primeiro elemento observado diretamente. São 256 níveis de cinza para fotografias P&B, e cor, com cerca de 2000 matizes, para fotografias pancromáticas coloridas e coloridas infravermelho. Garcia (1982).

O padrão em fotografia aérea pode ser considerado como arquitetura dos elementos que compõem um determinado objeto. Como exemplo temos os loteamentos, as áreas urbanas planejadas com seus aspectos retilíneos e axadrezados devido às ruas, as redes de drenagem formadas por rios e córregos e os padrões culturais. Araújo (2005).

Diante do exposto, na contextualização deste trabalho, foram feitos estudos sobre os elementos essenciais, forma, padrão e cor. Através da análise desses elementos foi possível desenvolver a metodologia empregada. Vale ressaltar que outros elementos também puderam ser utilizados na análise espaço-temporal.

## **2 | METODOLOGIA DE TRABALHO**

### **2.1 Localização da área de estudo**

A área de estudo se localiza no município de Olinda no estado de Pernambuco no bairro chamado Bairro Novo e se encontra no fuso UTM 25S.

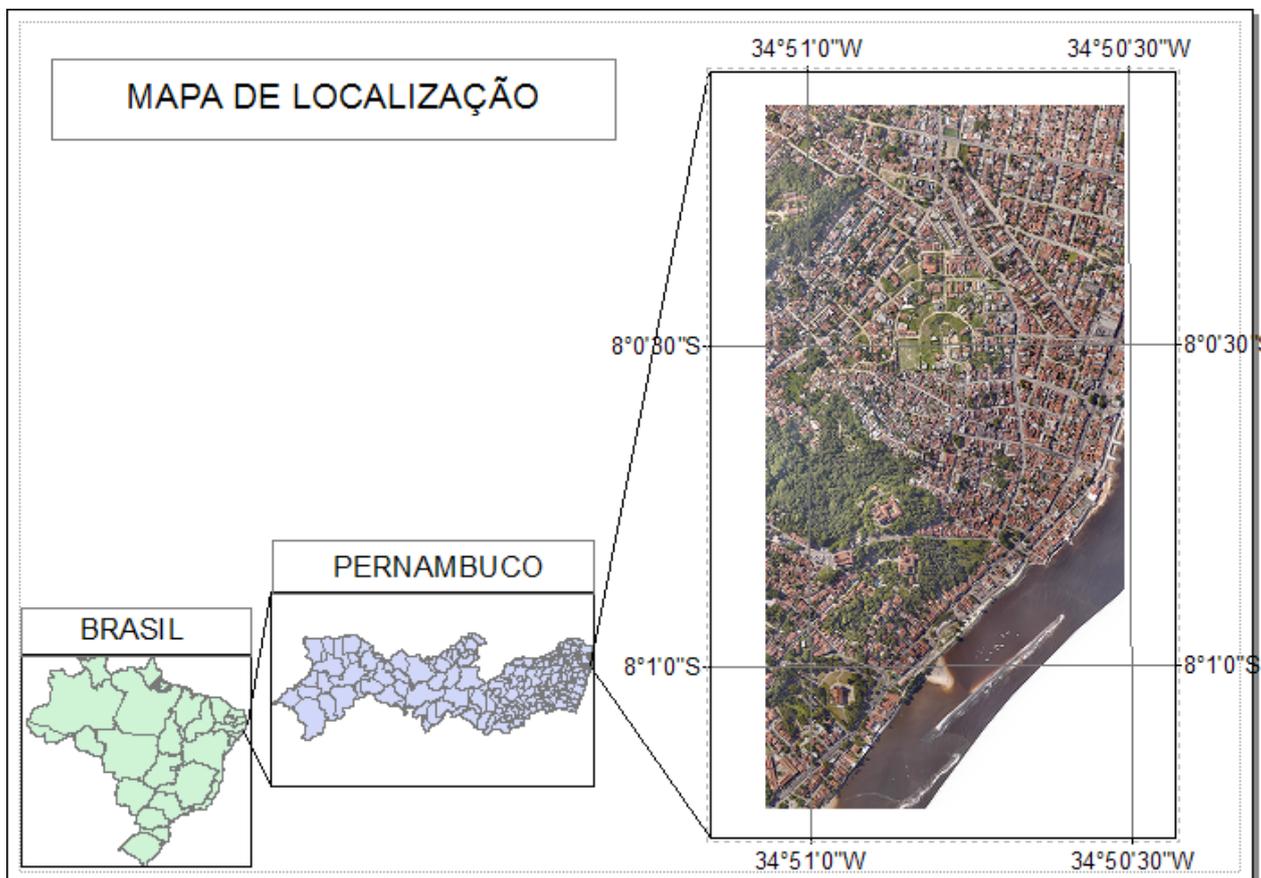


Figura 1. Localização da área de estudo pelas ortofotos de 2014 cedidas pela Compesa.

O trabalho começou com a obtenção das ortofotocartas via arquivo digital, obtidas na CONDEPE/FIDEM no período de Maio à Junho de 2016 e seguido da obtenção das ortofotos na COMPESA - Companhia Pernambucana de Saneamento no mesmo período. Tais materiais constituem a base cartográfica utilizada no estudo. A ortofotocarta se encontra na escala 1:10.000 e datum SAD 69 na época de 1986. A ortofoto disponibilizada se encontra no datum SIRGAS 2000 na época de 2014 e com GSD - *Ground Sample Distance* de 8 cm.

A etapa seguinte consistiu no processamento via software livre Quantum Gis Lisboa versão 2.8.7 de uma parte de Bairro Novo – Olinda englobando dois quilômetros quadrados onde se fez o georreferenciamento para o SIRGAS 2000 da ortofotocarta uma vez que a mesma deveria estar em um datum em comum com a ortofoto. O passo seguinte consistiu em se estudar os tipos de elementos que foram determinados no trabalho.

A análise do espaço-tempo foi baseada no estudo das variações observáveis das vias ou logradouros no decorrer do tempo, observando as vias que foram suprimidas ou que foram adicionadas, além disso, estudou-se também a variação da vegetação que foi suprimida devido ao crescimento populacional e conseqüentemente a presença de mais edificações que contribuíram para essa supressão. Outro aspecto observado foi a supressão ou não do solo exposto. Pelo fato que a observação na ortofotocarta

ser dificultosa devido a confusão na interpretação das edificações com a vegetação, esse estudo foi embasado na comparação com a ortofoto. Por último, para todos os aspectos observados na fotointerpretação procurou-se fazer um comparativo em porcentagem do que foi suprimido, alterado ou não no decorrer do tempo entre a totalidade de edificações observadas na ortofotocarta e na ortofoto, área vegetativa, solo exposto e rede viária.

O trabalho desses aspectos consistiu em fazer a vetorização em arquivos do tipo shapefile .shp criados em edição de layer onde os mapas temáticos gerados foram atribuídos a um sistema de projeção. Para os estudos de edificação, solo exposto, vegetação foi atribuído a vetorização do tipo polígono. Para as vias ou logradouros foi atribuído a vetorização do tipo polilinha.

A seguir, apresentam-se os resultados que foram obtidos bem como a interpretação dos elementos de fotointerpretação evidenciados.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os elementos padrão e forma analisados sobre a área de estudo na ortofotocarta, foram os mais relevantes, pois o elemento tom que é caracterizado por níveis de cinza torna o processo de interpretação dificultoso. Com relação à forma, a vegetação foi diferenciada da edificação observando-se a maneira irregular em que a mesma se encontrava e por apresentar tons de cinza mais escuros. As edificações foram identificadas pelos formatos regulares como quinas. Pelo padrão foi analisado a forma com que os objetos se apresentam no conjunto, como loteamentos, áreas urbanas planejadas, redes de drenagem, entre outros. O grande problema com relação à identificação das edificações foi que mesmo analisando pelo padrão, existia confusão devido a escala ser 1:10.000 e a imagem ser em tons de cinza o que fazia com que o formato de edificações se parecesse com o da vegetação, além de confusão com a sombra das casas.

Analisando o solo exposto houve confusão com as vias e edificações uma vez que as edificações e o solo possuem nível de cinza baixo tornando a interpretação falha. Além das áreas que compreendem apenas solo, ainda levantou-se a dúvida se o que estava sendo interpretado era via asfaltada ou de barro.

Pela ortofoto foram analisados os três elementos determinados. No elemento tom, os telhados das edificações foram identificados pela coloração alaranjada caracterizando telhados de barro, bem como telhados de amianto com colorações pretas e claras. Colorações pretas indicam edificações mais antigas. Em certas áreas onde as quadras não são bem definidas e as ocupações são avulsas a distinção entre uma edificação e outra se torna mais complicada, sendo portanto possível distingui-las observando-se outros elementos como sombra e tamanho, uma vez que a resolução da imagem aérea com GSD – *Ground Sample Distance* de 8 cm permite isso, pois quanto menor é o GSD, maior é a resolução espacial. Elementos como forma e padrão

também foram levados em conta. Com relação à vegetação, na ortofoto houve também confusão com a sombra das edificações. Todas as técnicas utilizadas para realização do trabalho inclui a aplicação direta da fotointepretação e fotogrametria. Os resultados podem ser vistos abaixo.

Área (ha)	ano1986	ano 2014	aumento (%)	diminuição (%)
vegetação	44,99	28,72		36,17
solo exposto	145,56	119,11		18,17
edificação	15,56	58,28	274,51	
total	206,11	206,11		

Tabela 1. Percentuais totais e áreas que as classes de estudo englobam nas épocas do estudo

quantidade	ano 1986	ano 2014	aumento (%)	diminuição(%)
edificação	838	3027	261,22	

Tabela 2. Quantificação de edificações e percentuais totais nas épocas do estudo

comprimento (m)	ano 1986	ano 2014	aumento (%)	diminuição(%)
redeviária	19154,67	25443,67	32,83	

Tabela 3. Quantificação de comprimento e percentuais totais nas épocas do estudo

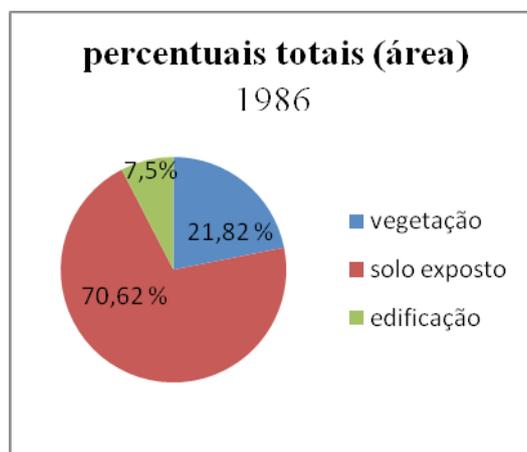


Figura 2. Percentuais totais de área na época

1986

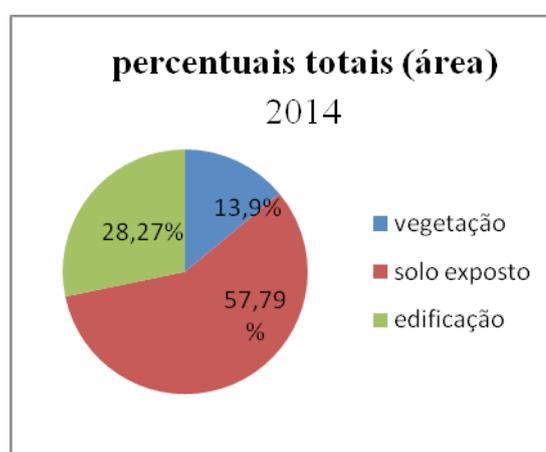


Figura 3. Percentuais totais de áreas na época

2014



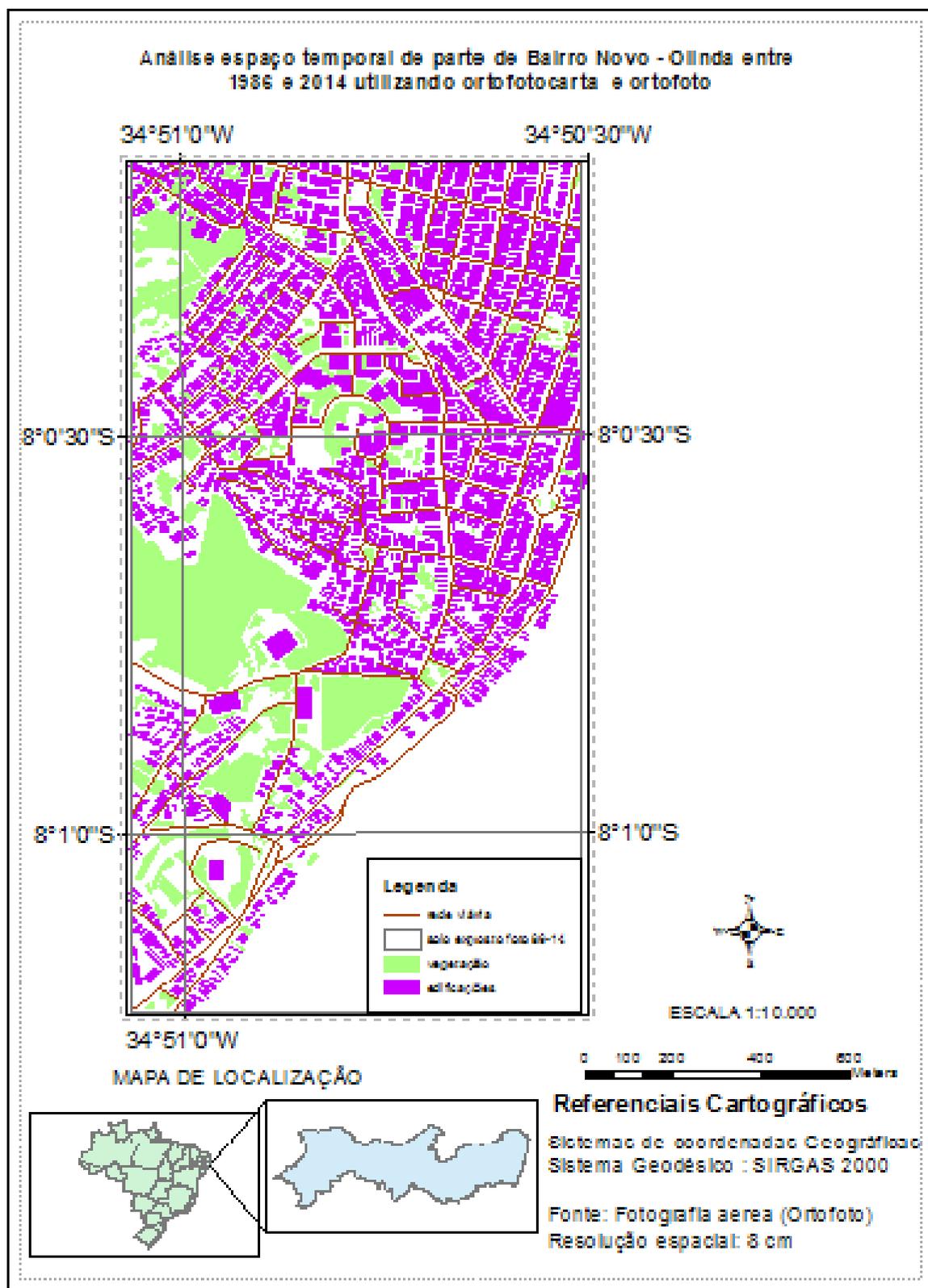


Figura 5. Mapa temático representando a vetorização realizada sobre a ortofoto

#### 4 | CONCLUSÕES

O trabalho em questão serviu para mostrar a variabilidade que pode ocorrer ao se analisar os aspectos da vegetação, solo exposto, edificações e vias ou logradouros. Constatou-se que com o passar do tempo houve um grande aumento da quantidade de edificações que surgiram com o conseqüente crescimento urbano na área. Tal

fato, acarretou na diminuição dos espaços em lotes que antes eram ocupados por vegetação, porém indica também presença de ocupações que podem ser irregulares já que foram fotointerpretados lotes com mais de uma edificação. No caso darede viária com a consequente diminuição do solo exposto devido a permeabilização das vias por asfalto a mesma teve vias que foram suprimidas e acrescentadas, ou seja, vias que antes existiam na época de 1986 e que agora na época de 2014 não existem, dando lugar a outras rotas asfaltadas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal de Pernambuco, ao departamento de Engenharia Cartográfica e seu corpo docente, em especial ao professor Doutor Carlos Alberto Borba Schuler, pela orientação e auxílio para conclusão do trabalho científico.

## REFERÊNCIAS

IBGE cidades, síntese de informações. Disponível em:

<<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=260960&idtema=16&search=Ils%E Dntese-das-informa%E7%F5es>> acesso em 18.mai.2016

Araújo, L.L. **Avaliação da dinâmica de áreas urbanas ocupadas por assentamentos irregulares utilizando visão estereoscópica por imagens anaglifo**. 2005. 57 p. Dissertação (Mestrado em Fotogrametria) – Universidade Federal de Pernambuco. 2005.

Teng, W. L. **Fundamentals of Photographic Interpretation**. In: Manual of photographic interpretation. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Maryland, USA. 2ª Ed. 1997. 689 p.

Duarte, F. **Planejamento Urbano**. 2ª Ed., 2007. 25 p.

Garcia, G. J.; **Sensoriamento Remoto: Princípios e interpretação de Imagens**. São Paulo, Nobel. 1982. 357p.

## ANÁLISE MULTITEMPORAL DA COBERTURA DE DUNAS AO LONGO DO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DO NORTE RS VIA DADOS TM LANDSAT 5

### **Jean Marcel de Almeida Espinoza**

Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Rio Grande do Sul  
Rio Grande – RS

### **Deivid Cristian Leal Alves**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, PPG Geociências  
Porto Alegre – RS

### **João Augusto de Carvalho Ferreira**

Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Rio Grande do Sul  
Rio Grande – RS

### **Jefferson Rodrigues dos Santos**

Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Rio Grande do Sul  
Rio Grande – RS

### **André Bilibio Westphalen**

Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Rio Grande do Sul  
Rio Grande – RS

### **Miguel da Guia Albuquerque**

Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Rio Grande do Sul  
Rio Grande – RS

sensor TM/LANDSAT 5 dos anos de 2005, 2006, 2009 e 2011. Com essas imagens, calculou-se o índice de neve/branco por diferença normalizada (NDSI), classificado por limiares, o que resultou em uma imagem de duna para cada data. Essas imagens foram utilizadas em conjunto com a técnica de detecção de mudanças para analisar variações na cobertura de dunas ao longo da área para os períodos de interesse. A perda na área de dunas encontrada é consequência da ocupação humana e, principalmente, das mudanças na cobertura vegetal, causadas pela inserção de espécies exóticas (pinus e eucalipto). A subtração na área do campo de dunas observada totalizou uma quantidade de cerca de 13.000 hectares. Esses dados, no entanto, ainda não são suficientes para esclarecer hipóteses sobre a dinâmica da área. As perdas nos campos de dunas totalizaram taxas médias de cerca de 2000 hectares ao ano, seguindo o padrão dos ventos de nordeste (NE).

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensoriamento remoto, processamento de imagens, geologia, dunas.

**RESUMO:** O presente trabalho teve por objetivo determinar a variação da cobertura dunar ao longo da área do município de São José do Norte, RS entre os anos de 2005 e 2011. Para isso, foram empregadas imagens orbitais do

**ABSTRACT:** The present work was to determine the variation of the dune cover along the area of the municipality of São José do Norte, RS between the years of 2005 and 2011. For that, TM-Landsat 5 orbital images of the years 2005, 2006, 2009 and 2011. With these images, the

normalized difference snow index (NDSI), classified by thresholds, was calculated, which resulted in a dune image for each date. These images were used together with the technique of detection of changes to analyze variations in the coverage of dunes along the area. The loss on the dune area is a consequence of human occupation and, mainly, changes in vegetation cover, caused by the insertion of exotic species (pinus and eucalyptus). The subtraction in the area of the dune field observed totaled an amount of about 13000 hectares. These data, however, are not yet sufficient to clarify hypotheses about the dynamics of the area. The losses in the dune fields totaled average rates of around 2000 hectares / year, following the pattern of the north-easterly (NE) loam winds.

**KEYWORDS:** remote sensing, image processing, geology, dunes.

## 1 | INTRODUÇÃO

A cobertura de dunas é caracterizada por grandes depósitos de areias oriundas de transporte eólico, em forma de leito e com área que não exceda 125km<sup>2</sup> (Pye e Tsoar, 2009). Silva et al. (2015) e Giannini et al. (2005) ressaltam que as dunas costeiras são megaformas de areias transportadas caracterizadas como dunas eólicas simples e/ou compostas, que migram da praia rumo ao interior, sendo por isso designados campos de dunas transgressivos (i.e., transgressive dunes) e formadas por sedimentos outrora trazidos por ação das ondas até a costa.

Segundo Manso et al. (2001), dois fatores caracterizam os depósitos eólicos costeiros: o estoque de sedimentos disponíveis para o transporte eólico e o regime de ventos.

Este estudo fez uso de cenas do sensor orbital Thematic Mapper (TM – satélite LANDSAT 5) de resolução espacial e 30m, cobrindo a área do município de São José do Norte/RS para os anos de 2005, 2006, 2009 e 2011 com o objetivo de quantificar a alteração na cobertura de dunas ao longo da área do município, através da aplicação da técnica de detecção de mudanças.

O estudo das alterações sobre a cobertura de dunas local aponta indícios de alterações no uso do solo, bem como alterações sobre os ecossistemas presentes, principalmente por ação humana.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

Sequencialmente, cada uma das cenas passou pelos procedimentos de pré-processamento, constituídos descritos pelo fluxograma metodológico (Fig. 1). Esses passos são discutidos em sequência.

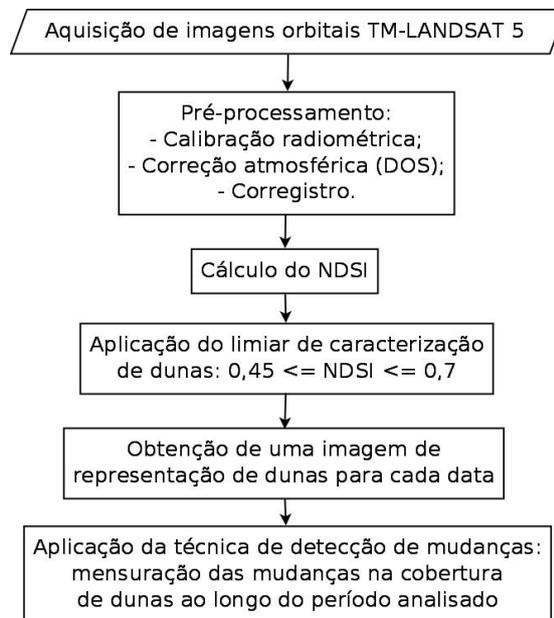


Figura 1: Fluxograma metodológico.

## 2.1 Aquisição dos dados

Para a análise multitemporal utilizaram-se imagens orbitais do sensor TM-LANDSAT 5 para os anos de 2005, 2006, 2009 e 2011. Obtidas no repositório eletrônico do Serviço Geológico Americano ([www://earthexplorer.gov](http://earthexplorer.gov)). As imagens foram obtidas sem custos, em formato TIFF e nível de processamento L1T (Fig. 2).

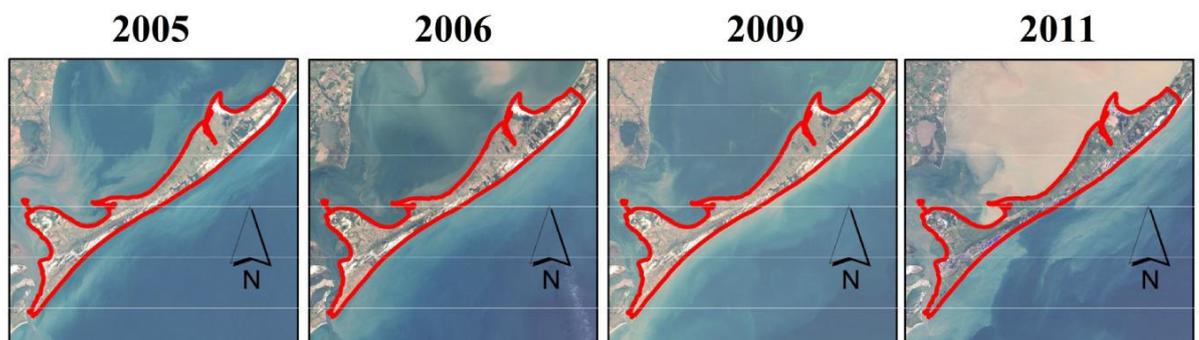


Figura 2: Cenas TM-LANDSAT 5 utilizadas

## 2.2. Pré-processamento

### 1º passo de pré-processamento: Calibração

A correção radiométrica dos dados consiste na transformação dos valores pictóricos da imagem de contadores digitais (CD) para valores de radiância espectral. Para a calibração radiométrica foi utilizado o software ENVI, empregando o algoritmo de calibração proposto por Jensen (2012) – equação:

$$L = a \cdot CD_{i,j} + b$$

Onde,

- a: Coeficiente linear de relação entre os níveis de radiância e os níveis de representação dos contadores digitais de cada pixel. Também chamado de ganho do sensor;

- b: Menor valor de radiância registrado pelo sensor em condição de ausência de exposição. Também chamado de Offset;

-  $CD_{i,j}$ : representa o valor de intensidade do pixel em contadores digitais, referente a um pixel na posição (i, j);

Com o emprego desta equação sobre os valores dos contadores digitais de uma imagem aplica-se a transformação dos valores de cada unidade pictórica da cena para uma escala de radiância. Essa transformação dos valores dos pixels de contador digital (CD) para valores de radiância é realizada empregando os fatores de calibração presentes nos metadados da imagem.

### **2º passo de pré-processamento: Correção atmosférica**

A correção atmosférica foi empregada com o intuito de reduzir os efeitos de dispersão atmosférica, bem como aprimorar o contraste e reduzir os erros sobre os dados-imagem utilizados. Para tanto, foi empregada a técnica de subtração do pixel negro (Dark Object Subtract - DOS). No DOS a interferência atmosférica é estimada diretamente a partir dos contadores digitais (CD) da imagem. Para a aplicação desta técnica não há a necessidade de se obter dados sobre as condições atmosféricas na data de obtenção das imagens .

O DOS assume que existem alvos (pixels) negros nas imagens (e. g. sombras e água profunda), onde os valores se aproximariam ao máximo do CD (contador digital referente ao pixel da imagem) mais baixo na imagem, equivalente a cerca de 1% de refletância. Porém, os valores desses pixels representam valores de CD superiores aos esperados, consequência do espalhamento atmosférico, e por isso esses pixels escuros servem de referência para a correção do espalhamento atmosférico.

Portanto, para vias de correção executou-se a determinação estimada dos valores para um alvo de referencia (pixel negro) e, então, subtraiu-se cada banda espectral pelo respectivo valor de referência. Como resultado, obteve-se uma cena reduzida dos efeitos atmosféricos.

### **3º passo de pré-processamento: Corregistro**

A correção geométrica das cenas visou a representação espacial dos dados em um sistema de coordenadas geográficas padrão, garantindo a coincidência espacial.

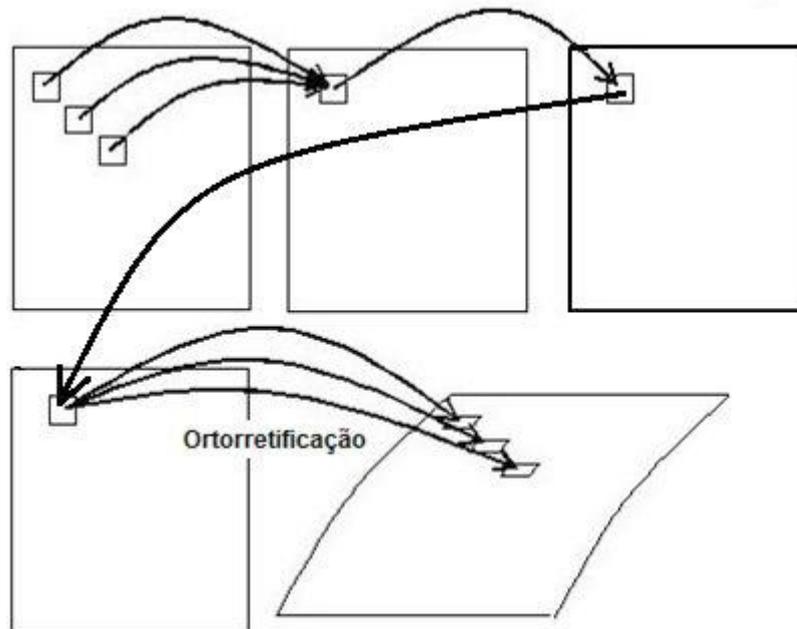


Figura 3: Representação do processo de correção de registro

O correção dos dados foi realizado junto ao software ENVI que aplica os seguintes passos de processamento sobre as imagens:

1. Aquisição de pontos de controle homólogos entre as cenas;
2. Cálculo da matriz de transformação espacial para a imagem ajustada em relação a imagem-base;
3. Correção da cena.

Com este processo, cada cena utilizada foi representada em um sistema de coordenadas geográficas padrão, permitindo correlacioná-las espacialmente (i.e., UTM-WGS84- 17S). O processo constituiu a última etapa de pré-processamento imposta aos dados

## 2.3. Processamento

### 2.3.1 Cálculo do NDSI

Para determinação das áreas de duna, foi executado o cálculo do índice de neve ou branco (NDSI – Normalized-Difference Snow Index) para cada cena, a partir do que propôs Hall et. al (1995). Para o sensor TM, o cálculo é feito através da expressão:

$$\text{NDSI} = (\text{B2} - \text{B5}) / (\text{B2} + \text{B5})$$

Os valores de NDSI determinados ficaram compreendidos entre -1 e +1. A aplicação de limiares entre 0,45 e 0,7 foi adotado como o intervalo correspondente à área de dunas de interesse para todas as cenas. A partir daí foi determinada a área de

dunas para cada cena. .

### 2.3.2 Detecção de mudanças na cobertura de dunas

O cálculo do ganho e/ou perda de dunas consistiu a relação aritmética simples de variação de área ( $\Delta A$ ), indicada na equação seguinte, onde quando  $\Delta A$  é positivo tem-se que a região sofreu ganho, quando negativo a região sofreu perda.

$$\Delta A = A_f - A_i$$

Onde,  **$A_f$**  equivale à área na data final do levantamento e  **$A_i$**  corresponde à área na data inicial do levantamento. Com isso, foi gerada uma imagem de mudanças para a cobertura de dunas em cada intervalo analisado.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Atualmente, o campo de dunas móveis da área de estudo apresenta cerca de 47,34 km<sup>2</sup>. Essa área atual é decorrência de forte redução na cobertura de dunas, de modo que é possível identificar que, ao longo dos anos, há perda das células sedimentares que gradativamente reduziram o campo de dunas, interiorizando os sedimentos no campo de dunas transgressivas. Atualmente, esta dinâmica natural encontra-se comprometida devido a implantação de vegetação exótica (pinus).

Quanto a morfologia desses conjuntos de dunas, é possível afirmar que as subáreas ocorrem dunas que progridem para o interior do continente no sentido NE, denotando assim que os ventos que sopram no quadrante NE são os de maior competência no transporte eólico (75% dos dias do ano para a região).

Em 6 anos de observação, há resultante negativa sedimentos nos campos de dunas, deste modo pode-se dizer que para os intervalos de 2005-2006, 2006-2009 e 2009-2011 houve constante perda de área de dunas. Os dados de mudança na cobertura de dunas estão presentes nas Figuras 4 e 5.

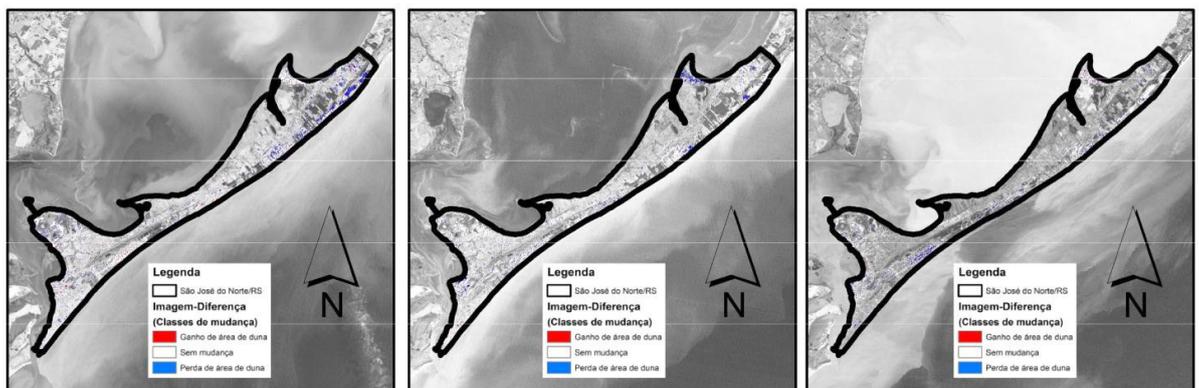


Figura 4: Áreas de duna entre os anos de 2005-2006, 2006-2009 e 2009-2011.

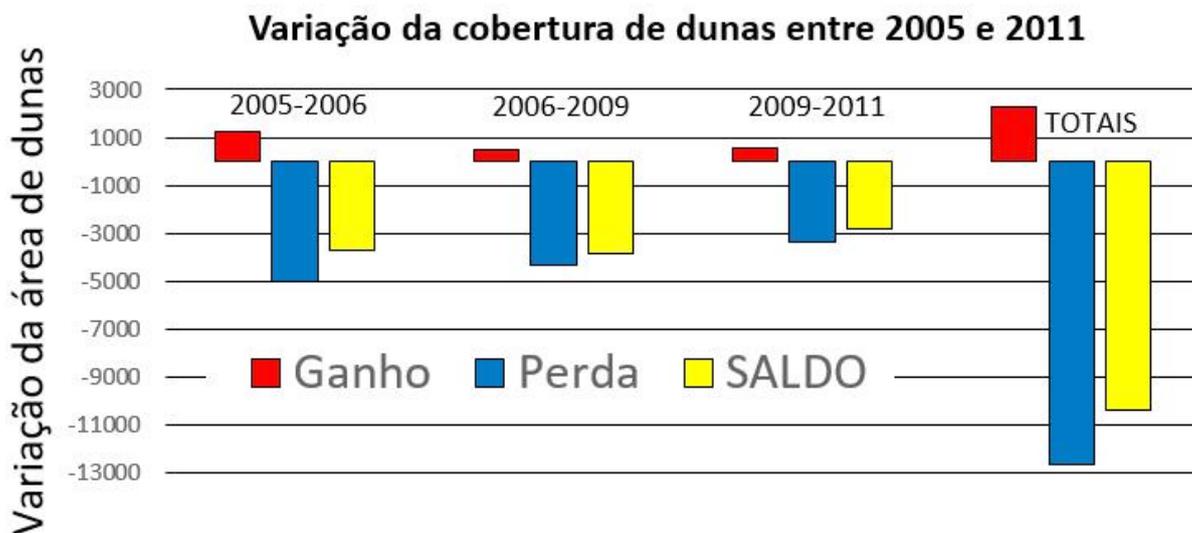


Figura 5: Gráfico de representação da variação de área de dunas

A subtração na área do campo de dunas é observada de maneira evidente para todo o período, totalizando um montante de cerca de 13000 hectares. Esses dados, contudo, não são ainda suficientes para esclarecer as hipóteses sobre a dinâmica da área. As áreas de perda dos campos de dunas totalizaram taxas médias da ordem de 2000 hectares/ano.

Essa avaliação também permitiu espacializar as áreas onde predominam as perdas de área de dunas. Como esperado, as maiores perdas concentraram-se no principal barlavento destes campos de dunas (a NE), ao passo que os maiores ganho concentram-se no seu principal sotavento (a SW) (Figura 4)

#### 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante os 6 anos de observação, pode-se afirmar que as dunas eólicas do município de São José do Norte/RS são megaformas em constante processo de expansão rumo a Lagoa dos Patos, muito embora ocorram episódios de perda de sedimento ao longo desse período. A ocorrência de perdas ao longo da área apresenta-se como o maior responsável pela manutenção do quadro de redução observado.

Essas informações, contudo, ainda insuficientes para estabelecer a compreensão definitiva das causas das modificações ocorridas, o que definiria a evolução da área de estudo. Estudos futuros devem acompanhar essa evolução em diferentes escalas temporais, longo e curto prazo, de modo a integrar com os dados meteorológicos, observando-se os efeitos da sazonalidade e de eventos climáticos regionais e globais sobre o padrão evolutivo dessas megaformas.

## REFERÊNCIAS

- AMARO, V. E. ; GOMES, L. R. S. ; LIMA, F. G. F. ; SCUDELARI, A. C. ; NEVES, C. F. ; BUSMAN, D. V. ; SANTOS, A. L. S. . **Multitemporal Analysis of Coastal Erosion Based on Multisource Satellite Images, Ponta Negra Beach, Natal City, Northeastern Brazil**. Marine Geodesy, v. 00, p. 01-25, 2014.
- ARAÚJO, V.D. **Caracterização Geológica Tridimensional e Monitoramento de Dunas no Litoral Oriental do Rio Grande do Norte**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica – PPGG), UFRN. Natal, RN, dezembro de 2006.
- CASTRO, A. F. ; AMARO, V. E. ; SOUTO, M.V.S. ; GRIGIO, A. M. ; FREITAS, C.C.M. . **Modeling and development of a computational system for evaluation of the coastal dynamics of Macau area, Rio Grande do Norte State, Brazil**. Journal of Coastal Research, v. 1, p. 1648-1652, 2011.
- FRANCO, C. G. M. ; AMARO, V. E. ; SOUTO, M. V. S. . **Prognóstico da erosão costeira no litoral setentrional no Rio Grande do Norte para os anos de 2020, 2030 e 2040**. Revista de Geologia (Fortaleza), v. 25, p. 37-37, 2012.
- GIANNINI, P.C.F. ; ASSINE, M.L. ; BARBOSA, L.M. ; BARRETO, A.M.F.; CARVALHO, A.M. ; CLAUDINO-SALES, V. ; MAIA, L.P. ; MARTINHO, C.T; PEULVAST, J-P.; SAWAKUCHI, A.O; TOMAZELLI, L.J. **Dunas e Paleodunas** Eólicas Costeiras e Interiores. Quaternário do Brasil. Holos, Editora. Ribeirão Preto, 2005. 235-257.
- FERNANDES, L.R.; AMARAL, R.F. **Paisagem costeira do litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte (Brasil): evolução temporal e padrões espaciais dos campos de dunas móveis**. Revista da Gestão Costeira Integrada. Portugal, 2013.
- FERREIRA, A.T.S. **Geoprocessamento de dados meteo-oceanográficos (cor do oceano e temperatura da superfície do mar) aplicado ao monitoramento ambiental na costa setentrional do Rio Grande do Norte**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica – PPGG), UFRN. Natal, RN, setembro de 2009, p. 6-7.
- MUEHE, D. 2005. **Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil**. Mercator - Revista de Geografia da UFC, ano 04, número 07, 2005.
- PYE, K. ; TSOAR. H. **Eolian Sand and Sand Dunes**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Berlin, 2009
- SOUZA, C. R. G. (Org.) ; SUGUIO, K. (Org.) ; OLIVEIRA, P. E. (Org.) ; Oliveira, A. M. S. dos (Org.) **.Quaternário do Brasil. 1. ed.** Ribeirão Preto: Holos Editora Ltda, 2005. v. 01. 378p .

## ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR DA CANA-DE-AÇÚCAR A PARTIR DE IMAGENS DO SATÉLITE LANDSAT-8 (OLI)

### Rodrigo Moura Pereira

Universidade de Brasília – UnB, campus Darcy  
Ribeiro  
Brasília – DF

### Dayanna Teodoro Quirino

Universidade Federal de Goiás – UFG, escola de  
Agronomia  
Goiânia – GO

### Derblai Casaroli

Universidade Federal de Goiás – UFG, Escola de  
Agronomia  
Goiânia – GO

### Lucas Melo Vellame

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia –  
UFRB, Departamento de Engenharia Agrícola

### Delvio Sandri

Universidade de Brasília – UnB, campus Darcy  
Ribeiro  
Brasília – DF

**RESUMO:** As grandes extensões de terras cultivadas e o entendimento da interação da radiação solar com os dosséis vegetativos, têm viabilizado a utilização dos dados de sensores remotos orbitais no monitoramento da cana-de-açúcar. Entretanto, os efeitos atenuantes atmosféricos interferem nos dados de refletância obtidos pelo sensoriamento remoto óptico. Assim, propõe-se calibrar um modelo de estimativa do Índice de Área Foliar

(IAF) da cana-de-açúcar em função do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) submetido à correção atmosférica. Foi estimado o IAF em um talhão de 1,08 ha cultivado com cana-de-açúcar, no município de Santo Antônio de Goiás – GO, ao final da fase de crescimento de colmos e a fase de maturação, na safra 2013/14, além do cálculo do NDVI da mesma área cultivada obtidos do sensor OLI/Landsat-8. Assim, analisou-se o comportamento temporal dos dados em dez datas de passagem do satélite entre os meses de janeiro/14 e agosto/14. Os dados do sensor foram corrigidos pelo algoritmo FLAASH, no intuito de minimizar os efeitos da atenuação atmosférica sobre a imagem. O modelo gerado pelo NDVI corrigido apresentou os melhores resultados ( $R^2 = 0,84$ ;  $d = 0,95$  MAE = 0,44 e RMSE = 0,55) em relação aos modelos comparados e sua aplicação na estimativa do IAF resultou em IAF máximo de 4,8 na fase de crescimento vegetativo e 2,3 na fase de maturação. Contudo, recomenda-se a aplicação da correção atmosférica, para a estimativa do IAF da cana-de-açúcar, pois assim se aproxima o IAF estimado por imagem do estimado por medidas diretas na planta.

**PALAVRAS-CHAVE:** Crescimento vegetal; *Saccharum* spp.; Processamento de imagem

**ABSTRACT:** Because of the large areas of productive farmland, satellite data have been

increasingly used in crop monitoring. However, the constituents of the atmosphere affect the reflectance values obtained by imaging sensors, as well to minimize these effects, it is proposed improvements to estimate the Leaf Area Index (LAI) of sugarcane due to the vegetation index (NDVI) with atmospheric correction. Field data of LAI were collected in sugarcane plots in the San Antonio region of Goiás - GO in first cut stage, in the crop year 2013/14 and NDVI data was obtained from the Landsat sensor 8 OLI (Operational Land Imager). These data were correlated in time in ten dates of satellite passage. The sensor reflectance data were subjected to correction by FLAASH algorithm (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercube) in order to minimize the effects of atmospheric attenuation in the image. Later, there was a comparison between models that correlate the NDVI and the LAI derived from this work and others have reported in the literature. The model generated by the NDVI with atmospheric correction showed the best results ( $R^2 = 0.84$ ,  $d = 0.95$  MAE = 0.44 and RMSE = 0.55) and its application in estimating the LAI during the plant cane cycle obtained maximum LAI of 4.8 in the vegetative growth phase and 2.3 at the end of the maturation phase. However, it is recommended the use of satellite images from Landsat 8 with atmospheric correction, to estimate the LAI of sugarcane.

**KEYWORDS:** Vegetal growth, *Saccharum* spp., Image analysis

## 1 | INTRODUÇÃO

No ano safra 2014/15 o Brasil plantou nove milhões de ha de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), sendo que o Estado de Goiás possuía a terceira maior área plantada no país, estimada em 896 mil ha para a safra 2014/15 (CONAB, 2014; IBGE, 2016). A cana-de-açúcar é uma das principais culturas agrícolas cultivadas no Brasil, sendo utilizada prioritariamente para a produção de açúcar e etanol para combustão em veículos.

No entanto, a produtividade da cana-de-açúcar é influenciada por diversos fatores, dentre eles a disponibilidade de nutrientes no solo e de água notadamente reduzida nos períodos de baixos índices pluviométricos, que em Goiás ocorre de maio a setembro, necessitando reposição de água via irrigação para atender a demanda evapotranspirométrica da cultura. Porém, esta reposição é influenciada por diversos fatores, especialmente do meio (solo, cobertura do solo, etc.), do clima (velocidade do vento, temperatura, radiação, etc.), e da própria vegetação (arquitetura da planta, albedo, IAF, dentre outros) (Allen et al., 1998).

O estudo da área foliar da cana-de-açúcar permite correlacioná-la com suas taxas de crescimento, uma vez que na folha ocorre a produção da maior parte dos carboidratos essenciais. As folhas são responsáveis diretas pela absorção da energia solar e transformação em energia química, a partir da fotossíntese. A fração de luz interceptada é determinada pelo índice de área foliar (IAF=área foliar/área solo) (Watson, 1947), que varia significativamente em cada estágio do desenvolvimento da

cana-de-açúcar (Almeida et al., 2008), sobretudo, em função do acúmulo de graus-dia (Teruel et al., 1997). Ainda, existe uma variação espacial nos ambientes de produção (Scarpari & Beauclair 2008).

Levando em consideração a importância da área foliar no monitoramento de culturas agrícolas, como a cana-de-açúcar, e suas vastas extensões de terras cultivadas, imagens orbitais têm tido destaque nesta linha de estudos, sobretudo, a partir dos índices de vegetação. Entretanto, existe uma carência de informações na correlação entre os estádios de desenvolvimento e os índices de vegetação, para que se determinem manejos adequados e específicos em cada momento ao longo do ciclo da cultura, bem como, realizar uma estimativa da produtividade, a qual é função do incremento de matéria seca vegetal, que pode ser detectada pela densidade de vegetação, cobertura vegetal, biomassa e índice de área foliar (Liu, 2007).

As imagens dos sensores Landsat mostraram-se eficientes no monitoramento da cana-de-açúcar no Centro-Sul do Brasil (Rudorff et al., 2010; Schultz et al., 2015). Isto se deu, principalmente pela cultura ser semi-perene e recobrir extensas áreas, muitas vezes contíguas, o que permite uma menor mistura dos dados espectrais por outros alvos ou feições terrestres em pixels de 30 m de resolução espacial (Giongo et al., 2010).

No entanto, algumas limitações têm sido relatadas nas pesquisas que envolvem dados orbitais, principalmente em termos das relações entre as imagens e os dados da cultura coletados em campo, durante os diferentes estádios de seu desenvolvimento (Simões et al., 2005). Algumas pesquisas indicam que existem diferentes padrões de crescimento vegetal em função dos produtos das técnicas de sensoriamento remoto (Turner et al., 1999; Colombo et al., 2003). Um destes produtos é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), determinado pela razão entre a diferença e a soma das refletâncias nas bandas do visível (VIS) e infravermelho próximo (NIR) (Wiegand et al., 1991). O NDVI associa a porção da radiação eletromagnética relacionada à quantidade de biomassa (NIR) e aquela à atividade dos pigmentos fotossintéticos (VIS) das plantas (Jackson & Huete, 1991).

Por outro lado, a atmosfera interage com a radiação eletromagnética interferindo na identificação dos alvos terrestres captados pelas imagens de sensores remotos. O espalhamento atmosférico provoca a atenuação do sinal captado pelo sensor a bordo do satélite e está presente em todos os comprimentos de onda do espectro eletromagnético, o que pode sugerir uma correção de dados oriundos de imagens orbitais (Latorre et al., 2002). Os efeitos positivos da aplicação de correção atmosférica em imagens orbitais são amplamente discutidos em aplicações que envolvem desde classificação de imagens a séries temporais e detecção de mudanças (Liang, 2002).

Assim, os objetivos desse trabalho foram: i) calibração de um modelo para medir a variação temporal do IAF da cana-de-açúcar a partir do NDVI obtido de imagens do satélite Landsat-8 (OLI) submetido à correção atmosférica; ii) analisar a variação temporal do IAF e de dados fenométricos da cultura da cana-de-açúcar obtidos em

campo; iii) comparar os resultados obtidos pelo melhor modelo obtido neste estudo aos descritos por Picoli (2009) e por Xavier e Vetorazzi (2004), que relacionam o IAF com o NDVI derivado de imagens orbitais.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado em área localizada no município de Santo Antônio de Goiás – GO. Segundo Köppen, o clima da região é Aw, tropical de savana, megatérmico. A média de temperatura do ar anual é de 23,0 °C, sendo a mínima registrada no mês de junho (14,4 °C) e a máxima em setembro (31,7 °C). O regime pluvial é bem definido, com um período chuvoso (outubro-abril) e outro seco (maio setembro), sendo a pluviosidade média anual igual a 1.498 mm (Silva et al., 2012).

A área pesquisada possui 1,08 ha de cana-de-açúcar (Figura 1), e correspondeu a quatro janelas de três pixels da imagem, seguindo as recomendações descritas em Xavier & Vetorazzi (2004). A variedade de cana-de-açúcar cultivada na área foi a CTC-04, considerada de maturação média a tardia, e tolerante à seca (CTC, 2013). O preparo do solo foi realizado com a aplicação de calcário (4 t ha<sup>-1</sup>) e gesso (2 t ha<sup>-1</sup>). O sistema de plantio adotado foi o semi-mecanizado com mudas pré-brotadas, a adubação de cobertura foi realizada em maio/2013 aos 30 dias após o plantio (DAP) e as aplicações de herbicidas realizadas aos 36 e 207 DAP.

Os índices biométricos foram avaliados em três perfilhos, por janela de três pixels, obtidos no período de janeiro a agosto de 2014 - 281 a 506 dias após o plantio (DAP), correspondendo ao final da fase de crescimento de colmos e a fase de maturação, sendo eles: i) Altura de colmo (ALT), conforme descrito em Silva et al., (2012); ii) Número de perfilhos por m<sup>2</sup>, seguindo a metodologia de Nassif (2012); iii) Número de folhas verdes (NFV): contabilizaram-se o número de folhas verdes totalmente expandidas e capazes de realizar fotossíntese; iv) Área foliar por perfilho, estimada pela equação proposta por Hermann & Câmara (1999); v) Índice de área foliar (IAF, m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>) (Nassif et al., 2012).

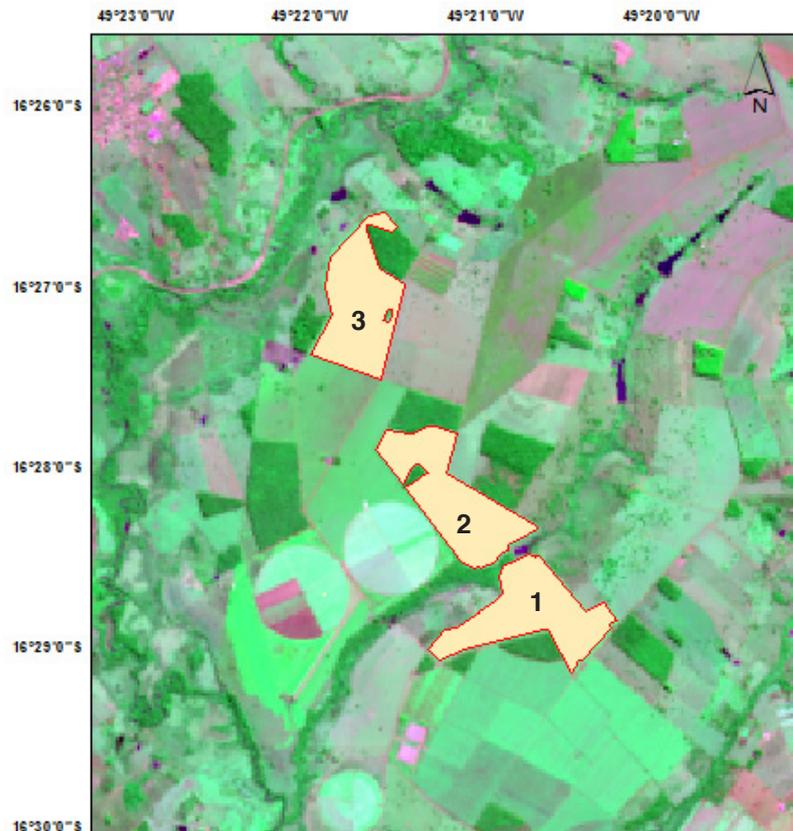


Figura 1. Localização de talhões cultivados com cana-de-açúcar na região de Santo Antônio de Goiás – GO, onde o talhão 1 representa o local de aplicação da janela de pixels e coleta dos dados fenométricos da cana-de-açúcar.

Os graus dias (GD, °C dia-1), para a cana-de-açúcar, foram estimados a partir da metodologia proposta por Villa Nova et al. (1972), utilizando a temperatura basal de 18 °C (Bachi & Souza 1978). Seguindo a metodologia de Teruel et al. (1997), os valores de GD foram padronizados para cada dia, a partir da relação entre o fotoperíodo e o período de 12 horas.

A base de dados espectrais foi obtida a partir de imagens Landsat 8/OLI, do banco de dados do sistema *Earth explorer* ([earthexplorer.usgs.gov](http://earthexplorer.usgs.gov)), com a seleção de cenas entre as datas de plantio (abril/2013) e colheita (agosto/2014) da cana-de-açúcar. Estas imagens consistem em arquivos digitais no formato raster (*.tiff*) quantificados em valores de número digital ou nível de cinza (DN) com intervalo de aquisição de 16 dias e resolução espacial de 30 m. Os dados em DN, foram então, convertidos em refletância no topo da atmosfera (TOA) a partir da utilização de coeficientes de redimensionamento radiométricos fornecidos no arquivo de metadados disponibilizado juntamente com as imagens (USGS, 2013).

O pré-processamento de imagens consistiu na inspeção visual para avaliação da qualidade das imagens com relação a critérios pré-estabelecidos, tais como: a ocorrência de pixels escuros, incidência de nuvens e a perfeita identificação do talhão cultivado com cana-de-açúcar. As correlações entre os dados biométricos e espectrais

foram realizadas em dez datas coincidentes com a passagem do satélite, entre 281 e 506 DAP. Após o ajuste, aplicou-se o modelo com melhor desempenho, em todas as imagens desde a época de plantio (26 DAP) até a colheita (506 DAP), no intuito de observar o comportamento do modelo no acompanhamento do IAF ao longo de um ciclo de produção de cana-planta de ano e meio.

As imagens, de órbita/ponto 222/71 foram datadas de: 01/05/2013 (26 DAP), 17/05/2013 (42 DAP), 18/06/2013 (74 DAP), 04/07/2013 (90 DAP), 05/08/2013 (122 DAP), 21/08/2013 (138 DAP), 06/09/2013 (154 DAP), 24/10/2013 (202 DAP), 28/01/2014 (298 DAP), 02/04/2014 (362 DAP), 04/05/2014 (394 DAP), 20/05/2014 (410 DAP), 05/06/2014 (426 DAP), 21/06/2014 (442 DAP), 07/07/2014 (458 DAP), 23/07/2014 (474 DAP), 08/08/2014 (490 DAP) e 24/08/2014 (506 DAP).

A refletância no topo da atmosfera (TOA) foi estimada, a partir da calibração radiométrica das bandas do vermelho e infravermelho próximo, que possibilitou converter os valores de DN da imagem em radiância (USGS, 2013).

A correção atmosférica nas imagens de TOA foi realizada no intuito de se obter as imagens denominadas como refletância de superfície (RS). Nessa etapa utilizou-se o modelo de transferência radiativa MODTRAN, compilado ao algoritmo FLAASH (Berk et al., 2002). Os parâmetros fixos utilizados no algoritmo foram as coordenadas centrais da área de estudo (16° 28' 54,30" S; 49° 20' 57,36" O), altitude do sensor 705 km, elevação média da região 769 m, tamanho do pixel 30 m, modelo atmosférico *Mid-Latitude Summer* e modelo de aerossol rural. A estimativa do conteúdo de vapor de água na atmosfera ( $w$ , g cm<sup>-2</sup>) e a pressão de saturação do vapor d'água (kPa) foram obtidas segundo Leckner (Iqbal, 1983) e Tetens (Pereira et al., 2002).

A partir das imagens de TOA e RS obtiveram-se os valores de NDVIAP (índice de vegetação por diferença normalizada, sem correção atmosférica) e NDVICOR (índice de vegetação por diferença normalizada, com correção atmosférica). Os dados de refletância das faixas do vermelho (0,64 – 0,67µm) e infra-vermelho próximo (0,85-0,88 µm) foram extraídos das janelas de pixels, e, assim, estimou-se o NDVI pela Equação 1.

$$\text{NDVI} = \frac{\text{pnir} - \text{pred}}{\text{pnir} + \text{pred}} \quad (1)$$

onde: pnir = a refletância na banda do infravermelho próximo e pred = a refletância na banda do vermelho. Outros dois métodos foram utilizados para estimar o IAF em função do NDVI: i) Método descrito por Picoli (2009) com a utilização do fator de correção de cobertura do solo ( $F_c$ ) de Choudhury et al., (1994) e ii) Método descrito por Xavier e Vetorazzi (2004).

Para avaliar os métodos aplicados para a obtenção do IAF da cana-de-açúcar, no que tange à sua precisão e exatidão, utilizaram-se os índices estatísticos: i) índice de concordância de Wilmott (1985) ( $d$ ); ii) erro máximo ( $E_{\text{max}}$ ); iii) erro absoluto médio ( $E_{\text{AM}}$ ); iv) raiz quadrada do erro médio (RMSE) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ),

conforme descritos no trabalho de Camargo & Sentelhas (1997).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de crescimento da cana-de-açúcar se relacionou com o acúmulo de graus-dias (GDA), identificando a resposta da cultura às unidades térmicas necessárias para o seu desenvolvimento (Figuras 2a, 2b e 2c). O aumento do IAF foi acentuado até 362 DAP ou 1184 GDA na cana-planta, quando o IAF atingiu o pico de 5,4 (Figura 2a). A partir de 1184 GDA foi observado um declínio do IAF com valor médio de  $1,56 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ , aos 506 DAP e 1566 GDA. O período de maior declínio do IAF foi observado entre 410 e 426 DAP, a uma taxa de  $-0,07 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . O período de redução do IAF compreendeu o período de baixa precipitação, diminuição da incidência solar, ocorrência de baixas temperaturas e fase da maturação da cana-de-açúcar. O ideal é que o índice de área foliar máximo ocorra sob condições climáticas satisfatórias à fotossíntese, uma planta em condições desfavoráveis pode ter seu crescimento reduzido em até 80% (Farias et al., 2007).

Quanto à altura de plantas, observaram-se taxas de crescimento até os 442 DAP e 1424 GDA com 3,86 m de altura média de plantas (Figura 2b), com a maior taxa média de crescimento ( $0,02 \text{ m dia}^{-1}$ ) registrada no período compreendido entre 298 DAP (início das medições) e 336 DAP. Após este período, já na fase de maturação, observaram-se taxas nulas de crescimento a partir de 442 DAP. Nesse período a cana-de-açúcar apresenta estabilização da altura de plantas (ALT), em cana-planta, período no qual o crescimento da cultura é bastante lento devido ao direcionamento de fotoassimilados para o acúmulo de sacarose, em detrimento da alongação do colmo (Keating et al., 1999). O número de folhas verdes (NFV) apresentou valores máximos e mínimos de 11 e 2 folhas por colmo durante o período de avaliação, além disso, foi observado um NFV médio igual a 10 durante o período de expansão foliar. A média de NFV durante a fase de taxas negativas que indicaram redução foliar foi de 6,7, com o menor valor médio de 3,5 na última avaliação aos 506 DAP com 1566 GDA (Figura 1c).

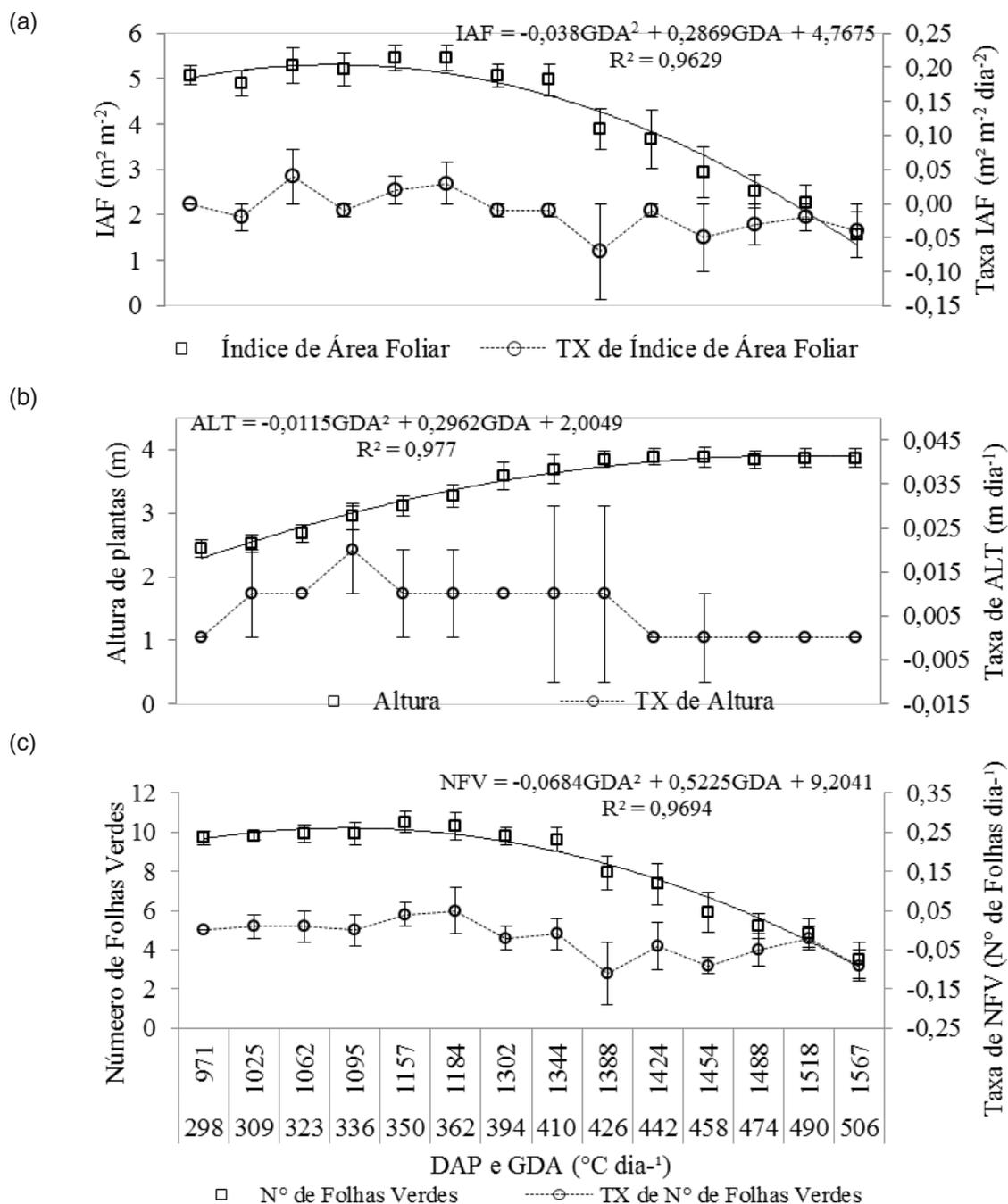


Figura 2. Variação temporal e respectivas taxas com desvio padrão para mais e para menos dos valores observados de índice de área foliar (a), altura de plantas (b) e número de folhas verdes (c) da cana-de-açúcar em função dos graus dias acumulados (GDA) entre os 298 e 506 dias após o plantio (DAP).

Os valores de  $NDVI_{AP}$  variaram entre 0,39 e 0,79 (Figura 3a) e os de  $NDVI_{COR}$  entre 0,45 e 1 (Figura 3b) de 298 a 506 DAP correspondendo ao final da fase de crescimento de colmos e maturação, respectivamente. Ao comparar o  $NDVI_{AP}$  com o  $NDVI_{COR}$ , se observa que os valores sem correção são menores que com correção. Os menores valores de  $NDVI_{AP}$  ocorreram devido à atenuação atmosférica, ocasionada pelos aerossóis, vapor d'água e do ozônio, que alteram os valores reais que deveriam ser registrados pelo sensor. Do ponto de vista da cultura, o período representou a fase de maturação da cana-de-açúcar que resulta em uma esperada redução na

reflectância na faixa do infravermelho com consequente redução nos valores de NDVI (Wiegand et al., 1991).

A partir da análise dos desvios foi possível detectar diferenças entre o  $NDVI_{AP}$  e  $NDVI_{COR}$  (Figura 3c), em que os valores de  $NDVI_{COR}$  foram superiores ao  $NDVI_{AP}$  em todos os tempos de avaliação, com erros relativos entre 11% e 43% (Figura 3d). Turner et al. (1999) afirmam que tal ganho é esperado, uma vez que a geometria entre o sol, superfície e sensor é diferente entre as imagens, devido à variação das propriedades ópticas da atmosfera que podem gerar ruídos nas relações espectrais. Verificou-se ainda que os menores erros relativos foram obtidos no período mais próximo da colheita da cana-de-açúcar, onde, no campo, observou-se que a área do talhão que compunham os pixels da imagem era em sua maioria formada pela composição de constituintes vegetais (folhas, colmos e palha), que resultou em valores de NDVI entre 0,5 e 0,4 aos 506 DAP. Os menores valores de NDVI nessa fase estiveram mais próximos na comparação entre as imagens com e sem aplicação de correção atmosférica, com menores erros relativos observados (Figura 3d).

No final do ciclo de produção da cana-de-açúcar, a média das diferenças relativas foi de 15%, corroborando com os resultados obtidos por Agapiou et al. (2011), que avaliaram o efeito da correção atmosférica no NDVI obtido por imagens Landsat 7 ETM+ e obtiveram valores médios de diferença relativa iguais a 20% para  $NDVI < 0,40$  e diferenças superiores a 50% para valores de  $NDVI > 0,40$ .

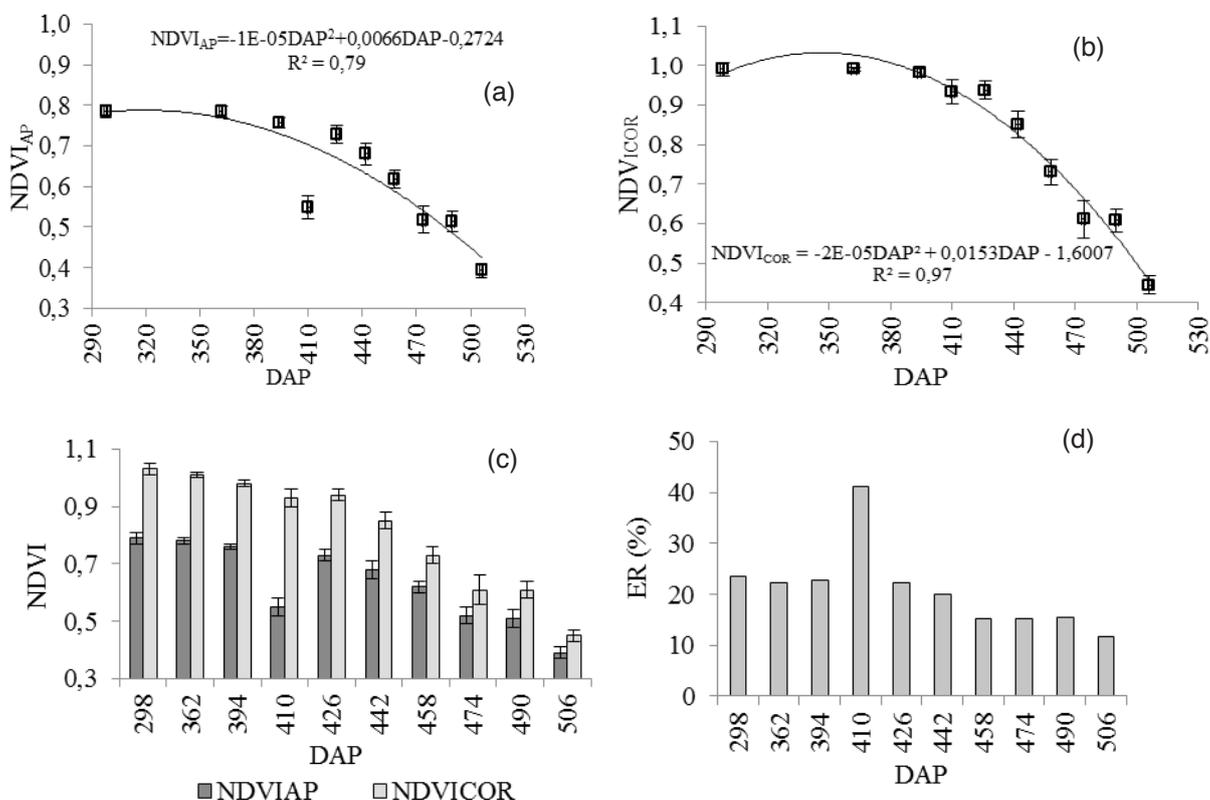


Figura 3. Relação dos modelos que relacionam o  $NDVI_{AP}$  sem correção atmosférica (a) e  $NDVI_{COR}$  com correção atmosférica obtidos de imagens Landsat 8 (b) em função dos dias após o plantio da cana-de-açúcar (DAP), bem como seus valores médios com seus respectivos desvios-padrão (c) e o erro relativo (d) ( $ER\% = 100 \cdot (NDVI_{COR} - NDVI_{AP}) / NDVI_{COR}$ ).

Na relação entre o IAF e NDVI (Figura 4), houve maior dispersão dos dados no ajuste do IAF com o  $NDVI_{AP}$  ( $R^2 = 0,60$ ) em relação ao ajuste com  $NDVI_{COR}$  ( $R^2 = 0,84$ ) (Figuras 3a e 3b). Um maior coeficiente angular foi observado no ajuste com o  $NDVI_{AP}$  (8,11) comparado ao  $NDVI_{COR}$  (6,44), indicando que há uma maior sensibilidade desse modelo ao estimar o IAF em função do NDVI. Assim, o ponto de saturação do  $NDVI_{AP}$  e do  $NDVI_{COR}$  foi alcançado com valor de aproximadamente 0,80 e 1,0, respectivamente, correspondente a um  $IAF \approx 5,4$ , para ambos. Sugawara & Rudorff (2011) observaram alta variabilidade do NDVI nos períodos de desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar, tal variabilidade diminui nos períodos finais de crescimento, onde mesmo com o aumento de biomassa, o NDVI satura-se próximo a valores de 0,9, ou seja, acima deste valor o NDVI não seria capaz de expressar o aumento de biomassa, mesmo com o aumento do dossel.

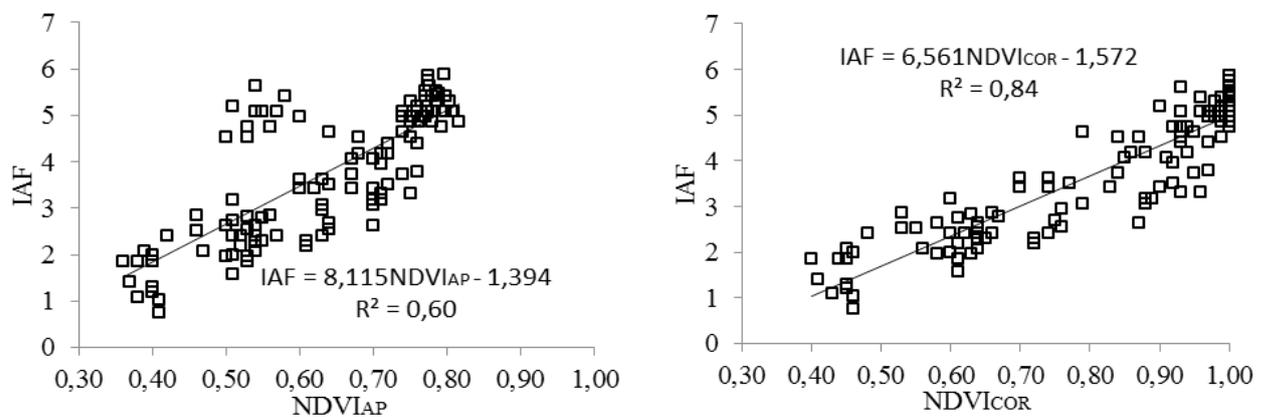


Figura 4. Modelos de estimativa do IAF da cana-de-açúcar a partir do  $NDVI_{AP}$  sem correção atmosférica (a) e do  $NDVI_{COR}$  corrigido (b) obtidos do satélite Landsat 8.

Verificou-se que o método que apresentou a menor dispersão em relação a uma reta 1:1 (IAF:NDVI), determinado pelo índice “d”, foi a estimativa de IAF em função do NDVI com correção atmosférica, o qual apresentou também os menores RMSE, EAmáx e EAméd (Figura 5a, b, c e d). Os índices menos satisfatórios foram detectados na metodologia de Picoli (2009). Tais diferenças podem refletir a variação estrutural do dossel da cana-de-açúcar no talhão quando comparada com amostragens localizadas, o que sugere a necessidade do aumento de amostragens em campo para que as diferenças entre os valores reais de IAF se aproximem dos valores estimados por modelos espectrais, que de certa forma generalizam o espaço de variação do IAF. Analisando os valores estimados por Picoli (2009) e Xavier & Vetorazzi (2004), os resultados deste último, na sua grande maioria subestimam os valores, quando comparados aos dados estimados em campo. Estes dois modelos de apesar de se basearem na relação entre o NDVI e o IAF da cana-de-açúcar, valeram-se de condições diferentes, tais como, sensores e resoluções distintas entre as imagens, o que pode

ter interferido na sua aplicação direta aos dados obtidos.

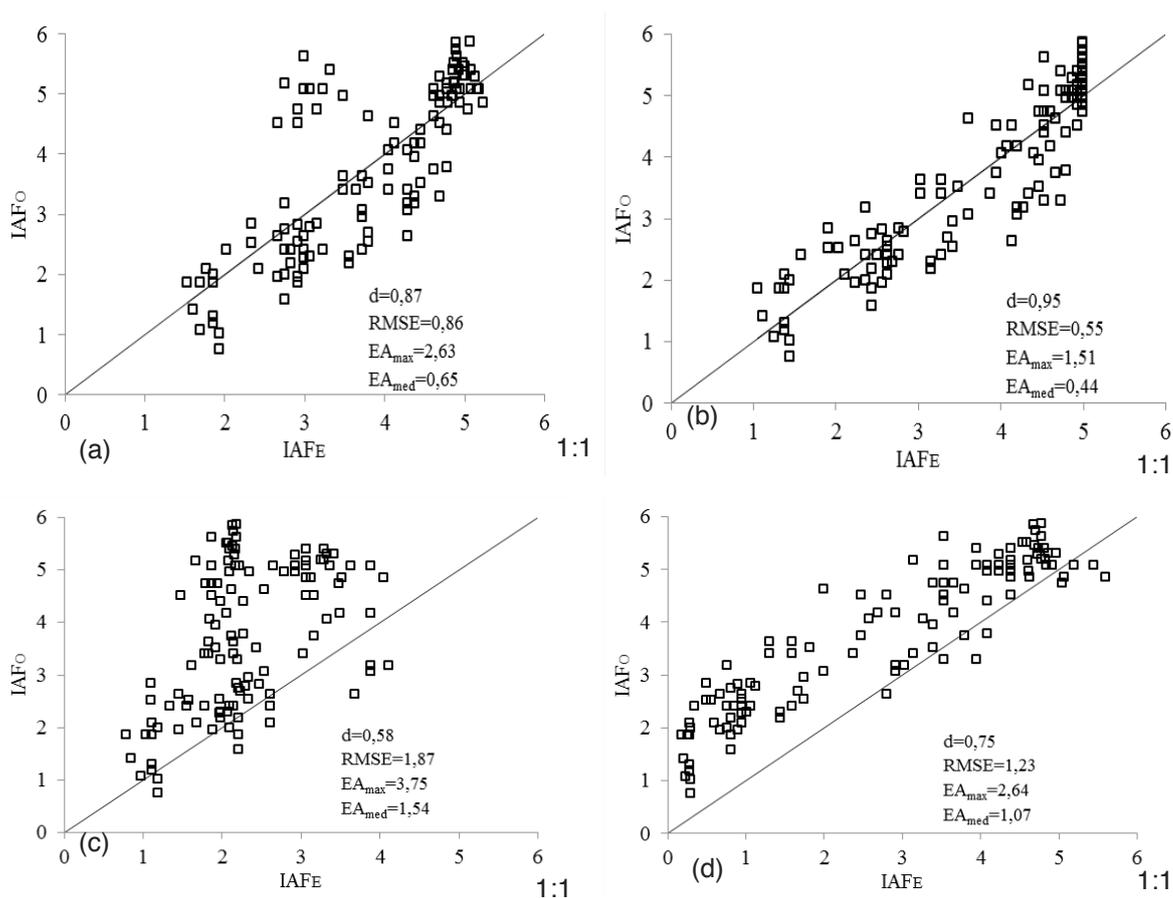


Figura 5. Relação entre o índice de área foliar da cana-de-açúcar estimado em campo (IAFO) e os estimados (IAFE) pelos modelos obtidos pelo NDVI sem correção atmosférica [NDVIAP (a)] e com correção atmosférica [NDVICOR (b)], Picoli (2009) (c) e Xavier & Vetorazzi (2004) (d), bem como, seus respectivos índices estatísticos “d” de Wilmot, raiz do erro quadrático médio (RMSE), erro absoluto máximo (EA<sub>max</sub>) e erro absoluto médio (EA<sub>med</sub>).

A evolução temporal do  $IAF_{COR}$  durante o ciclo de produção da cana-planta (Figura 6) mostra que a variabilidade intra-anual do  $IAF_{COR}$  médio dos talhões segue o desenvolvimento fenológico da cana-de-açúcar. No intervalo entre 26 e 138 DAP, onde se observa uma relação positiva até o NDVI de 0,42 que resultou em um IAF = 1,98 no final da fase de perfilhamento, onde, até esse momento a precipitação acumulada foi de 116,6 mm. Com o aumento das precipitações e início da estação chuvosa, na fase vegetativa, observa-se um aumento do NDVI com o valor máximo no mês de janeiro/2014 (NDVI = 1) aos 298 DAP e IAF de 4,81, já se aproximando ao final da fase vegetativa e início da maturação. Ressalta-se que entre os meses de outubro/2013 e janeiro/2014 obtiveram-se poucas imagens corrigidas, pois são meses da estação chuvosa e nesta época as imagens apresentam grande cobertura de nuvens. No período de aquisição das imagens posteriores a janeiro/2014, no intervalo de 298 a 426 DAP, a precipitação acumulada foi de 568,2 mm, o suficiente para que o NDVI permanecesse em patamares próximos a 1 até o início do mês de junho (426 DAP, NDVI = 0,95, IAF = 4,49). A partir de junho com uma diminuição acentuada da

precipitação e já na fase de maturação, o NDVI apresentou queda acentuada, onde a condição de céu claro deste período permitiu que as imagens adquiridas entre junho e agosto/2014 identificassem a depleção do IAF satisfatoriamente, de forma que ao final do ciclo de produção o NDVI fosse de 0,4 e na imagem de aos 506 DAP, em agosto/14, resultou em um IAF de 2,3.

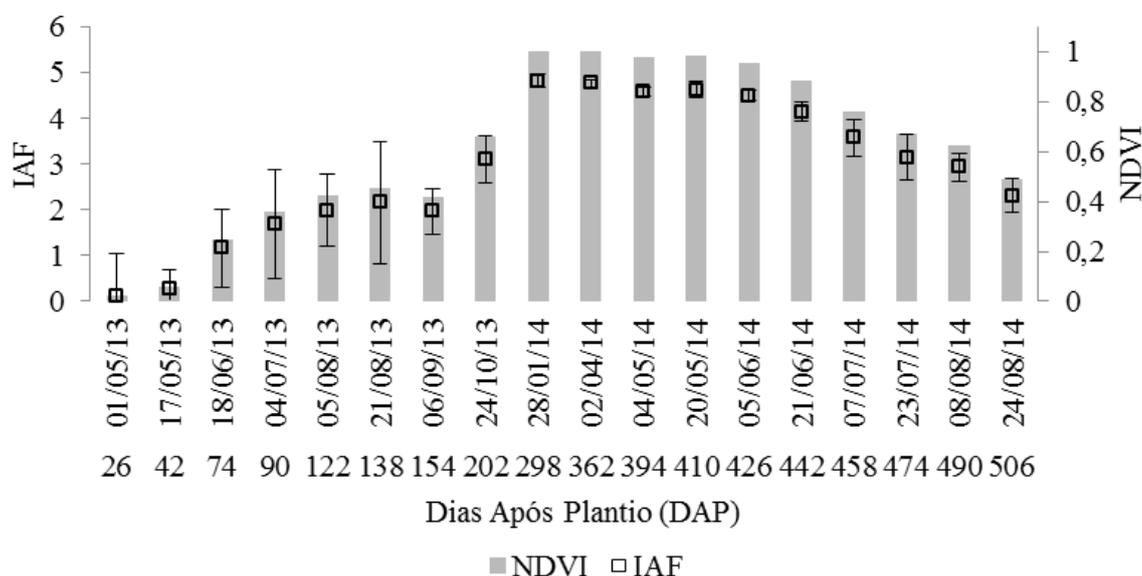


Figura 6. Evolução temporal do  $NDVI_{COR}$  (barras) e do  $IAF_{COR}$  com desvio padrão (quadrados) em função das datas de aquisição das imagens e dos dias após o plantio (DAP) durante o ciclo de produção da cana-planta.

Incrementos nos valores de NDVI estão associados ao aumento da densidade de biomassa, que por sua vez é favorecida por períodos de maior precipitação. Lucas et al. (2007) observaram que o valor máximo de NDVI de 0,6 ocorreu após o mês de maior incidência de chuvas, posteriormente, com a diminuição das precipitações de 585,2 mm para 97,2 mm e depois para 25,9 mm o NDVI começa a decair para 0,43 e em seguida para 0,27 em resposta às respectivas reduções pluviométricas. Em relação ao ciclo da cultura, os autores obtiveram em uma mesma imagem valores médios de NDVI de 0,4 em talhões na fase de maturação e 0,3 em talhões recém-colhidos, devido ao estágio inicial, onde a rebrota exerce baixa influência na resposta espectral e a grande área de solo exposto resulta em baixos valores de NDVI. Sugawara & Rudorff (2011) estudaram o NDVI obtido a partir de dados do sensor MODIS/Terra e observaram uma variação do NDVI entre 0 e 0,99 entre as fases iniciais e de máximo crescimento em áreas cultivadas com cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. Na região estudada pelos autores, a colheita acontece entre abril e setembro, período no qual se verifica a queda acentuada do NDVI de valores superiores a 0,75 para valores inferiores a 0,4 no final do período de colheita, além disso, relata-se que embora a cana-de-açúcar seja colhida em diferentes datas ao longo do período seco do ano, o aumento do NDVI após a colheita só ocorre após o início do período chuvoso.

## 4 | CONCLUSÃO

A correção atmosférica nos dados de refletância que originam o índice de vegetação aumenta a qualidade das correlações entre dados espectrais e de superfície. A variação temporal do IAF a partir do modelo ajustado pelo NDVI corrigido mostrou-se satisfatória nas fases avaliadas da cana-de-açúcar. A correlação das diferentes faixas espectrais dos sensores com variáveis de crescimento da cultura permite identificar um ajuste do comportamento espectral da resposta da cultura da cana-de-açúcar em relação as faixas do espectro eletromagnético correspondentes ao vermelho e infravermelho próximo.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome, FAO, 1998, 333p.
- ALMEIDA, A. C. S.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G. V. S.; FILHO, G. M.; FERREIRA J. R. A. **Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas**. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1441-1448, set./out., 2008.
- AGAPIOEU, A.; HADJIMITSIS, D. G.; PAPOUTSA, C.; ALEXAKIS, D. D.; PAPADAVID, G. **The importance of accounting for atmospheric effects in the application of NDVI and interpretation of satellite imagery supporting archaeological research: The case studies of Palaepaphos and Nea Paphos sites in Cyprus**. Remote Sensing, Basel, v. 3, p. 2605-2629, 2011.
- BACHI, O. O. S.; SOUZA, J. A. G. C. **Minimum threshold temperature for sugar cane growth**. In: International society of sugar cane technologists. Proceedings... São Paulo, 1978, v. 2, p. 1733-1741.
- ANDERSON, G.P.; FELDE, G.W.; HOKE, M.L.; RATKOWSKY, A.J.; COOLEY, T.W.; CHETWYND, J.H., Jr.; GARDNER, J.A.; ADLER-GOLDEN, S.M.; MATTEW, M.W.; BERK, A. **MODTRAN4-based atmospheric correction algorithm: FLAASH (fast line-of-sight atmospheric analysis of spectral hypercubes)**. In Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery VIII, 2002, Orlando, FL, USA Proceedings, Society of Photo Optics, 2002, p. 65–71
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. **Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativas da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, v. 1 - Safra 2014/15, n. 3 – Terceiro levantamento, Brasília, 2014. Disponível em <www.conab.gov.br>. Acesso em: 04 abr 2015.
- CHOUDHURY, B. J.; AHMED, N. U.; IDSO, S. B.; REGINATO, R. J. **Relations between evaporation coefficients and vegetation indices studied by model simulations**. Remote Sensing of Environment, New York, v. 50, p. 1-17, 1994.
- FARIAS, C. H. A.; NETO, J. D.; FERNANDES, P. D.; GHEIY, H. R. **Índice de área foliar em cana-de-açúcar sob diferentes níveis de irrigação e zinco na Paraíba**. Revista Caatinga. v. 20, n. 4, p. 45-55, 2007.
- GIONGO, P. R.; MOURA, G. B. A.; SILVA, B. B.; ROCHA, H. R.; MEDEIROS, S. R. R.; 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, Campina Grande, v.14, n. 3, p. 279-287, 2010.

HERMANN, E. R.; CÂMARA, G. M. S. **Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar**. Revista da STAB, Piracicaba, v. 17, p. 32-34, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA**. Disponível em < <http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 19 mai 2016.

IQBAL, M. **An introduction to solar radiation. Library of congress cataloging in publication data**. Academic Press Canadian, 1983, 390p.

KEATING, B. A.; ROBERTSON, M. J.; MUCHOW, R. C.; HUTH, N. I. **Modeling sugarcane production systems**. Field Crops Research, Amsterdam, v. 61, p. 253-271, 1999.

LATORRE, M.; JÚNIOR, O. A. C.; CARVALHO, A. P. F.; SHIMABUKURO, Y. E. **Correção atmosférica: Conceitos e Fundamentos**. Espaço e Geografia, Brasília v. 5, n. 1, p. 153-178, 2002.

LIANG, S. **Atmospheric correction of Landsat ETM+ land surface imagery – Part II: Validation and applications**. IEEE Transactions on geoscience and remote sensing. v. 40, n. 12, p. 2736-2746, 2002.

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: Uniderp, 2007. 908 p.

LUCAS, A. A.; SCHULER, C. A. B. **Análise do NDVI/NOAA em cana-de-açúcar e mata atlântica no litoral norte de Pernambuco, Brasil**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande v. 11, n. 6, p. 607-614, 2007.

NASSIF, D. S. P.; MARIN, F. R.; PALLONE, W. J. F.; RESENDE, R. S.; PELLEGRINO, G. Q. **Parametrização e avaliação do modelo DSSAT/CANEGRO para variedades brasileiras de cana-de-açúcar**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 47, n. 6, p. 311-318, 2012.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia – Fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba, Agropecuária, 2002, 478p.

PICOLI, M. C. A.; RUDORFF, B. F. T.; RIZZI, R.; GIAROLLA, A. **Índice de vegetação do sensor MODIS na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar**. Bragantia, Campinas, v. 68, n. 3, p. 789-795, 2009.

RUDORFF, B. F. T.; AGUIAR, D. A.; SILVA, W. F.; SUGAWARA, L. M.; ADAMI, M.; MOREIRA, M. A. **Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in São Paulo State (Brazil) using Landsat data. Remote Sensing**, Basel, v. 2, n. 4, p. 1057-1076, 2010.

SCARPARI, M. S.; BEAUCLAIR, E. G. F. **Variação espaço-temporal do índice de área foliar e do brix em cana-de-açúcar**. Bragantia. Campinas, v. 67, n. 1, p. 35-41, 2008.

SCHULTZ, B.; IMMITZER, M.; FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. A.; LUIZ, A. J. B.; ATZBERGER, C. **Self-guided segmentation and classification of multi-temporal Landsat 8 images for crop type mapping in southeastern Brazil**. Remote Sensing, Basel, v. 7, n. 11, p. 14482 – 14508, 2015.

SIMÕES, M. S.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI; CAMARGO R. A. **Variáveis espectrais e indicadores de desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar**. Scientia Agrícola, Piracicaba, v. 62, n. 3, p. 199-207, 2005.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; CARMO, J. F. A.; SOUZA, L. S. B. **Biometria da parte aérea da cana soca irrigada no submédio do vale do São Francisco**. Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 43, n. 3, p. 500-509, jul-set, 2012.

SUGAWARA, L. M. & RUDORFF, B. F. T. **Acompanhamento do crescimento vegetativo da cana-de-açúcar por meio de séries temporais de NDVI do sensor MODIS**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15., 2011 Curitiba, PR. Resumos... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 391-398.

TURNER, D. P. COHEN, W. B.; KENNEDY, R. E.; FASSNACHT, K. S.; BRIGGS, J. M. **Relationships between leaf area index and Landsat TM spectral vegetation indices across three temperate zone sites**. Remote Sensing of Environment, New York, v. 70, n. 3, p. 52-68, 1999.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY - USGS (2013) – **Landsat 8**. Disponível em: <<http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>>, Acesso em 10 mar. 2015.

VILLA NOVA, N. A.; PEDRO Jr, M. J.; PEREIRA, A. R.; OMETTO, J. C. **Estimativa de Graus-dia acumulados acima de qualquer temperatura base, em função das temperaturas máxima e mínima**. Caderno de Ciências da Terra, Instituto Geográfico-USP, n. 30, 1972.

WATSON, D. J. **Comparative physiological studies on growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years**. Annals of Botany, Oxford, v.11, p.41-76, 1947.

WIEGAND, C. L.; RICHARDSON, A. J.; ESCOBAR, D. E.; GERBEMANN, A. H. **Vegetation indices in crop assessments**. Remote Sensing of Environment, New York, v. 35, p. 105-119, 1991.

XAVIER, A. C.; VETORAZZI, C. A. **Monitoring leaf area index at watershed level through ndvi from Landsat-7/ETM+ data**. Scientia Agricola, Piracicaba, v.61, n.3, p.243-252, 2004.

## ESTUDO DO DESFLORESTAMENTO E QUALIDADE AMBIENTAL A PARTIR DO USO DE TECNOLOGIAS EM SENSORIAMENTO REMOTO

### **Roberta Monique da Silva Santos**

Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

Doutoranda do Programa de Ciências do Ambiente e

Sustentabilidade na Amazônia, PPGCASA-UFAM.

Faculdade Salesiana Dom Bosco

### **Stiffanny Alexa Saraiva Bezerra**

Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

### **Álefe Lopes Viana**

Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - IFAM

### **Nelson Felipe de Albuquerque Lins Neto**

Mestre em Agronomia Tropical.

Faculdade Salesiana Dom Bosco

### **José Roselito Carmelo da Silva**

Mestre em Geociências

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - IFAM

**RESUMO:** Esta pesquisa analisou, a partir de imagens de satélites e índices ambientais, de que forma o processo de expansão urbana tem contribuído para a perda de vegetação no município de Iranduba, Amazonas. Foram utilizadas imagens do satélite Landsat 5, sensor TM (*Thematic Mapper*) dos anos de 2003, 2005, 2010 e 2011, a partir das quais realizou-se o estudo temporal do uso e cobertura do solo. A classe de vegetação Floresta Ombrófila entre

os anos de 2003 e 2011, sofreu uma perda de 233.261 km<sup>2</sup>, o equivalente a 10.53% da área total do município. A Floresta secundária, no mesmo intervalo de tempo, teve um crescimento de 206.725 km<sup>2</sup> (9.33 %). Quanto à classe de Área antropizada, mostrou crescimento em todas as datas estudadas, tendo um crescimento de 2003 a 2011 de 79.144 km<sup>2</sup> (3.57%). A partir de informações coletadas em campo, calculou-se o Índice de Qualidade Ambiental, que variou entre 0,60 e 0,43, indicando que a área apresenta níveis críticos de qualidade ambiental. Utilizando imagem landsat 5 - TM, do ano de 2011, elaborou-se o mapa de vegetação do município por meio do qual se extraíram informações para a determinação dos Índices de Cobertura Vegetal e Cobertura Vegetal por Habitante. Os índices de vegetação calculados (ICV – 73,05; ICVH – 1.765). De forma geral, os resultados obtidos mostraram-se satisfatórios, dentro da proposta de trabalho.

**PALAVRAS-CHAVE:** Landsat-5, Vegetação, Qualidade ambiental.

**ABSTRACT:** This research analyzed, from satellite images and environmental indexes, how the process of urban expansion has contributed to the loss of vegetation in the municipality of Iranduba, Amazonas. Images from the Landsat 5 satellite, TM sensor (*Thematic Mapper*) of the years 2003, 2005, 2010 and 2011 were used,

from which the temporal study of land use and cover was carried out. The vegetation class Ombrophilous Forest between the years 2003 and 2011, suffered a loss of 233,261 km<sup>2</sup>, equivalent to 10.53% of the total area of the municipality. Secondary forest, in the same period, had a growth of 206,725 km<sup>2</sup> (9.33%). As for the class of Anthropized Area, it showed growth in all the dates studied, having a growth from 2003 to 2011 of 79,144 km<sup>2</sup> (3.57%). Based on information collected in the field, the Environmental Quality Index was calculated, which varied between 0.60 and 0.43, indicating that the area presents critical levels of environmental quality. Using a landsat 5 - TM image from the year 2011, the vegetation map of the municipality was elaborated through which information was extracted for the determination of the Indices of Plant Cover and Plant Cover per inhabitant. The calculated vegetation indexes (ICV - 73.05, ICVH - 1.765). In general, the results obtained were satisfactory, within the proposed work.

**KEYWORDS:** Landsat-5, Vegetation, Environmental Quality.

## 1 | INTRODUÇÃO

A Amazônia, reconhecida mundialmente como a maior floresta tropical ocupa cerca de 5% da superfície terrestre e é considerada como o maior banco genético do planeta. A região tem uma área aproximada de 7,5 milhões de km<sup>2</sup>; desse total 5 milhões (em torno de 60%) pertence ao território brasileiro (GONÇALVES, 2012).

Apesar de sua grandiosidade, relevância econômica, social e ambiental, a Amazônia tem sido ameaçada constantemente em sua biodiversidade devido ao crescente desmatamento que tem ocorrido nos últimos anos, processo decorrente principalmente da exploração madeireira, queimadas, agricultura e expansão urbana.

De acordo com dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (2011), por meio do Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (Prodes), foi registrado no ano de 2011 uma taxa de desmatamento na Amazônia de 6.400 km<sup>2</sup>, área essa quatro vezes maior que a da cidade de São Paulo. Nesse sentido, monitorar os focos onde ocorrem perda da vegetação natural é essencial tanto para a manutenção das áreas, quanto para a formulação de políticas públicas que busquem minimizar as taxas de desflorestamento.

Dentre as técnicas utilizadas para o monitoramento dos focos de desflorestamento, destacam-se as ferramentas geotecnológicas, que por meio de imagens de satélite, possibilitam o mapeamento e a obtenção de informação com referência espacial (localização geográfica). Destacam-se entre as geotecnologias, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e o Sensoriamento Remoto. Outro instrumento técnico importante nesse monitoramento são os indicadores ambientais, que orientam os tomadores de decisão.

A área de estudo da pesquisa abrange o Município de Iranduba, Estado do Amazonas, que com a construção da Ponte sobre o Rio Negro, que liga Manaus a Iranduba, tem sido alvo de grande transformação na paisagem em virtude da especulação imobiliária, implantação de loteamentos, conjuntos habitacionais e

ocupações irregulares (IBGE, 2011).

De acordo com dados do IBGE (2010), no ano de 2009 o município possuía 33.884 habitantes, passando a 40.781 habitantes no último censo realizado em 2010 e com uma estimativa de 40.407 habitantes em 2017, demonstrando o significativo crescimento populacional municipal. Outro dado importante é que o desmatamento no município, no ano de 2010, ultrapassou o limite de 20% estabelecido pelo Código Florestal (CBNMANAUS, 2011), o que o levou a ser o primeiro do Estado do Amazonas a receber o programa de Regularização Ambiental Rural e o Plano Estadual de Prevenção e Controle do Desmatamento no Amazonas (PPCD-AM).

Neste sentido, esta pesquisa teve como objetivo estudar o desflorestamento no Município de Iranduba, utilizando Sistemas de Informações Geográficas e Imagens do Satélite Landsat 5 entre os anos de 2003 e 2011, analisando sua influência sobre a qualidade ambiental do município.

## **2 | REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. Geotecnologias**

Geotecnologias são tecnologias utilizadas para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica, através da sinergia entre *hardware*, *software* e *peopleware*. Dentre as geotecnologias pode-se destacar: os Sistemas de Informações Geográficas e o Sensoriamento Remoto (ROSA, 2005). De acordo com Gonzaga (2009) para o estudo da dinâmica de uso e ocupação da terra, as geotecnologias são fundamentais pois permitem identificar a ação antrópica, analisando as diferentes classes de uso, contribuindo para o processo de tomada de decisão.

### **2.2. Sensoriamento Remoto**

De acordo com Florenzano (2002) a história do sensoriamento remoto está vinculada principalmente ao surgimento da fotografia aérea e seu uso inicialmente militar e após alguns anos, essa tecnologia foi liberada aos civis.

De acordo com Ferreira et al., (2000) o Sensoriamento Remoto é o processo de aquisição de informações sobre um objeto sem que haja contato físico com o mesmo. Novo (1992) complementa ao afirmar que para o processo de Sensoriamento Remoto o uso de sensores é fundamental. Através destes, obtem-se uma grande quantidade de informações que permitem o monitoramento ambiental em diversas escalas. Além da finalidade ambiental, o Sensoriamento Remoto pode ser aplicado a variadas áreas do conhecimento, como transportes, comunicação e outros (VICENS, et al., 2001).

### **2.3. Sistemas de Informações Geográficas – SIG**

De acordo com Florenzano (2002) SIG é um sistema computacional para o

tratamento de informações geográficas em diferentes formas e escalas. Este sistema pode ser proprietário (comercializado a partir da obtenção de licenças de uso) ou então disponibilizado por um desenvolvedor de programas computacionais (livre ou gratuito).

Possui uma variada gama de aplicações, sendo aplicado a praticamente todas as atividades humanas, pois todas as atividades são executadas em algum local, com posição geográfica (FERREIRA, 2006).

#### **2.4. Uso de imagens de satélite no estudo de ambientes naturais**

Segundo Florenzano (2007) as imagens de satélites permitem uma visão sistêmica, de conjunto, contribuindo nas decisões a cerca da gestão de áreas da superfície terrestre, sua transformação e uso e ocupação do espaço.

As imagens de satélite são utilizadas para diversas finalidades e tem auxiliado em pesquisas científicas e no monitoramento de fenômenos naturais. De acordo com Ferreira et al., (2000), dentre as possibilidades de utilização das imagens de satélite para fins ambientais, destacam-se a detecção e monitoramento de focos de incêndio e áreas de queimadas, monitoramento do desmatamento e inundações e deslizamentos de terra.

#### **2.5. Uso e Cobertura do Solo**

De acordo com Ferreira et al., (2005), o estudo do uso e ocupação consiste em conhecer de que forma o homem está utilizando o espaço (solo) e a área por ele ocupada. As técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto aliadas com Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são utilizadas no estudo das formas de uso e cobertura do solo (LOPES, 2008). Conhecer as estratégias utilizadas pelo homem no uso e cobertura do solo favorece na verificação de medidas para a preservação e manutenção do meio ambiente (SCHLINDWEIN et. al., 2007).

#### **2.6. Estudos aplicados ao Uso e cobertura do Solo**

Muitos estudos envolvendo a análise do uso e cobertura do solo tem sido aplicados, com a finalidade de buscar melhores formas de gestão dos espaços naturais.

Kleinpaul et al., (2005), por exemplo, aplicaram a metodologia de uso e cobertura do solo, com o objetivo monitorar os processos de desmatamento e regeneração e também determinar quais são as taxas de conversão de florestas primárias em outros usos da terra e destes em regeneração. Lopes (2008), utilizando desta mesma metodologia, buscou caracterizar espacialmente o uso e ocupação do solo no município de Tailândia – Pará, através do satélite LANDSAT 5/TM combinado de Sistema de Informações Geográficas (SIG). Barbosa et al., (2009), utilizaram a metodologia para quantificar e estudar a evolução do uso no período entre 1984 e 2001 e caracterizar

os padrões das fisionomias presentes, a fim de subsidiar possíveis trabalhos de planejamento do uso e manejo agrícola do solo, assim como ações conservacionistas dos recursos naturais e renováveis no município, em detrimento do fato de que esta região tem sido alterada muito rapidamente devido à ação antrópica. Nogueira et al., (2007), aplicaram a metodologia de mapeamento do uso e cobertura do solo com a finalidade de analisar o processo de expansão da área urbana de Manaus e os impactos decorridos dela.

## **2.7. Índices de Cobertura Vegetal (ICV) e Cobertura Vegetal por Habitante (ICVH)**

Segundo Melazo (2008) a vegetação é caracterizada como um indicador de qualidade ambiental e atua juntamente a outros indicadores (qualidade do ar, da água, solos, fauna e clima). Para o cálculo do Índice de Cobertura Vegetal é necessário o mapeamento de toda cobertura vegetal da área e a partir desse dado (em metros quadrados) chega-se à porcentagem de cobertura vegetal que existe naquele bairro ou cidade (OLIVEIRA et. al., 1999).

São importantes indicadores da qualidade ambiental urbana (MELAZO, 2008): a) Índice de Cobertura Vegetal – ICV (%): É a proporção de área de vegetação (Copa das Árvores/arbustos) ( $m^2$ ) em função da área total de uma cidade. b) Índice de Cobertura Vegetal por Habitante – ICVH ( $m^2/\text{hab}$ ): É a proporção entre a área de vegetação (copa das árvores/arbustos) ( $m^2$ ) pelo número de habitantes de uma cidade.

## **3 | MATERIAL E MÉTODOS**

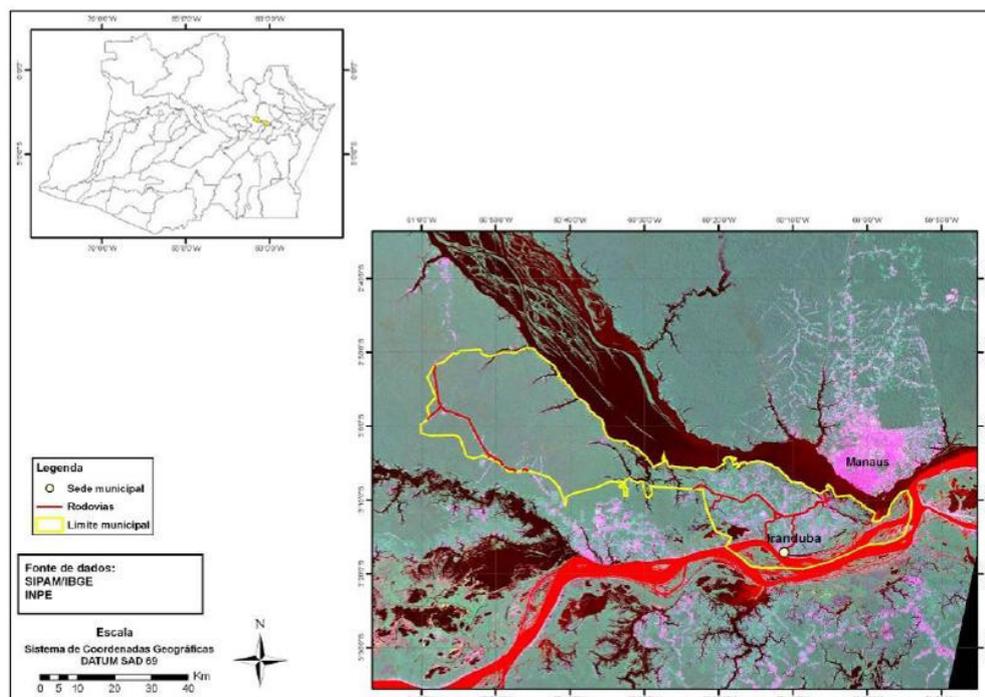
### **3.1. Classificação da Pesquisa**

De acordo com Gonçalves e Meirelles (2004), esta pesquisa é classificada como aplicada e descritiva. Segundo Gil (2002), quanto aos meios é bibliográfica, estudo de campo e estudo de caso.

Quanto ao tipo de abordagem, segundo Silva e Menezes (2000), é classificada como qualitativa e quantitativa. Para coleta de dados foram utilizados dados primários (elaboração e interpretação de mapas temáticos) e dados secundários (Imagens de satélites, Livros, artigos, dissertações, dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, legislação e Plano Diretor Municipal).

### **3.2. Área de Estudo**

O Município de Iranduba, distante aproximadamente 25 quilômetros de Manaus, ocupa uma área de cerca de  $2.214,250\text{km}^2$  e limita-se com os municípios de Careiro, Manaquiri, Manacapuru, Novo Airão e Manaus (Figura 1) e de acordo com o último censo IBGE, possui 40.781 habitantes (IBGE, 2010).



**Figura 01:** Localização do Município de Iranduba. Fonte: SIPAM.

### 3.3. Materiais Utilizados

Nesta pesquisa foram utilizados os seguintes materiais:

a) Imagens: Dados de sensoriamento remoto do satélite LANDSAT 5, com resolução espacial de 30 metros, órbita/ponto 231/062. As imagens utilizadas são referentes aos anos de 2003 (24/07/2003), 2005 (29/07/2005), 2010 (27/07/2010) e 2011 (14/07/2011) disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Imagem Orthorretificada do site da *Global Land Cover Facility*.

b) Dados Vetoriais: Foram utilizados os dados vetoriais de vegetação, limite municipal e Unidades de Conservação na escala de 1:300.000.

c) Softwares e laboratórios: Software SPRING/INPE versão 5.1.6.; Laboratório de Geotecnologias UFAM.

d) Material complementar: Micro computador e periféricos, GPS GARMIN, modelo 65 CXs.

### 3.4. Procedimentos Metodológicos

A metodologia adotada nesta pesquisa compreendeu duas etapas:

*3.4.1. Mapeamento multitemporal do crescimento espacial da área urbana e perda de vegetação do Município de Iranduba, Amazonas, entre o período de 2003 e 2011.*

Foram utilizadas imagens do Satélite Landsat 5 – TM, dos seguintes anos: 2003, 2005, 2010 e 2011. Foi utilizada a Projeção UTM, Datum ITRF (WGS 84). Foram importadas as bandas 3, 4 e 5, para o Módulo INPIMA do software SPRING, onde

foram convertidas do formato TIFF para GRB.

As imagens foram georreferenciadas utilizando imagem Orthorretificada do site da *Global Land Cover Facility* e submetidas ao processo de composição RGB, ou seja, bandas 5, 4 e 3, com realce para ajudar na interpretação. O recorte da área de estudo foi realizado utilizando o vetor do limite do município.

A fase seguinte foi a de definição das classes de uso e cobertura da área de estudo, das quais foram tomadas amostras de treinamento do classificador. Neste processo foram avaliadas as características de cada classe definida, com base na resposta espectral.

O processo de classificação baseou-se em imagens e informações disponíveis na literatura e reconhecimento em campo. Foram identificadas as seguintes classes: Floresta Ombrófila, Floresta Secundária, Área antropizada e Água.

Antes de iniciar o processo de classificação do tipo Supervisionada (Pixel a pixel), utilizando o classificador Maxver, selecionaram-se algumas amostras de cada classe para o treinamento das mesmas, com o objetivo de avaliar o quanto estas bandas espectrais auxiliariam no reconhecimento das classes em questão. A partir dos resultados apresentados por ele, puderam-se tomar decisões para a melhoria da classificação. A imagem foi submetida à classificação supervisionada por pixel, utilizando-se o algoritmo de Máxima Verossimilhança (Maxver) com limiar de aceitação de 99%.

No Quadro 01 consta a chave de identificação das classes, baseada na análise visual, levando em consideração as características utilizadas para as amostras de treinamento da imagem, em visitas de campo, além de revisão de literatura.

Em seguida, realizou-se a pós-classificação. Para a avaliação dos resultados e acurácia foi aplicado o teste estatístico de Kappa nas classificações realizadas.

Classe	Cor	Textura	Formato	Descrição
Floresta Ombrófila	Verde escuro e médio	Grossa e homogênea	Irregular e contínuo	Corresponde à cobertura arbórea de médio e grande porte.
Floresta Secundária	Verde claro	Granular	Irregular e não-contínua	Vegetação em regeneração, florestas secundárias ou formações florestais que já tenham sofrido algum tipo de antropização. Incluíram-se também, em virtude da semelhança espectral, áreas de agricultura.
Área Antropizada	Vermelho, cor-de-rosa	Grossa	Irregular e não contínuo	Área urbanizada, construções, estradas, solo exposto.
Água	Azul escuro	Lisa	Regular e contínuo	Rede hidrográfica – lagos, rios e igarapés.

**Quadro 01:** Chave de interpretação das classes temáticas – Composição RGB.

### *3.4.2. Análise da qualidade ambiental do município de Iranduba utilizando Sistema de Informações Geográficas e índices de cobertura vegetal*

O mapa de vegetação do município de Iranduba foi elaborado no software Spring/INPE, a partir de imagem LANDSAT-5 do ano de 2011, nas bandas 3, 4 e 5. Na classificação foram definidas duas classes: Floresta Ombrófila (corresponde à cobertura arbórea de médio e grande porte que não apresentassem nenhuma interferência antrópica) e Floresta Secundária (Vegetação em regeneração, florestas secundárias ou formações florestais com elevada antropização e que ainda não se regeneraram por completo. Incluíram-se também, em virtude da semelhança espectral, áreas de agricultura). A partir do mapa gerado, foram calculadas as áreas pertencentes a cada classe e esses valores foram utilizados para calcular os índices ambientais propostos: Índices de Cobertura Vegetal (ICV) e Cobertura Vegetal por Habitante (ICVH).

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Mapeamento e quantificação da perda de vegetação entre o período de 2003 e 2011 no Município de Iranduba, Amazonas.

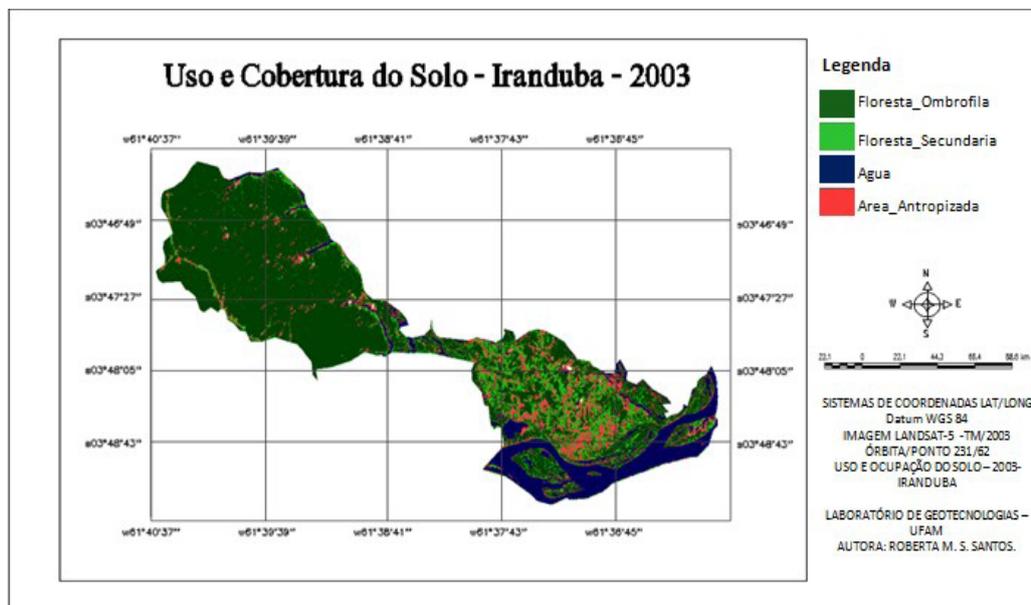
#### 4.1.1. Mapa de Uso e Cobertura do Solo – Ano de 2003.

O mapa de uso e cobertura do solo do ano de 2003, indica que na área de estudo 13.02% era ocupado por Floresta Secundária e 61.21% por Floresta Ombrófila. As menores porcentagens foram representadas por Água e Área Antropizada. Os valores correspondentes à cada classe são apresentados na Tabela 01.

Classes	Área (km <sup>2</sup> )	%
Água	344.388	15.55%
Floresta Ombrófila	1.355.504	61.21%
Floresta Secundária	288.398	13.02%
Área antropizada	225.398	10.17%
ÁREA TOTAL	2.214.250	100,00%

**Tabela 01:** Distribuição das classes estudadas no ano de 2003.

A partir do mapa (Figura 02), nota-se que a Floresta Ombrófila está sendo substituída tanto por outros tipos de vegetação, quanto por áreas de antropização. Um fator importante na análise da perda de vegetação no município é a abertura de estradas, pois como pode ser observado no mapa, nas proximidades da Rodovia AM 010 e da Rodovia AM 352 há uma presença maior de antropização e consequente perda de cobertura vegetal.



**Figura 02:** Mapa de Uso e Cobertura do Solo do Município de Iranduba, ano de 2003.

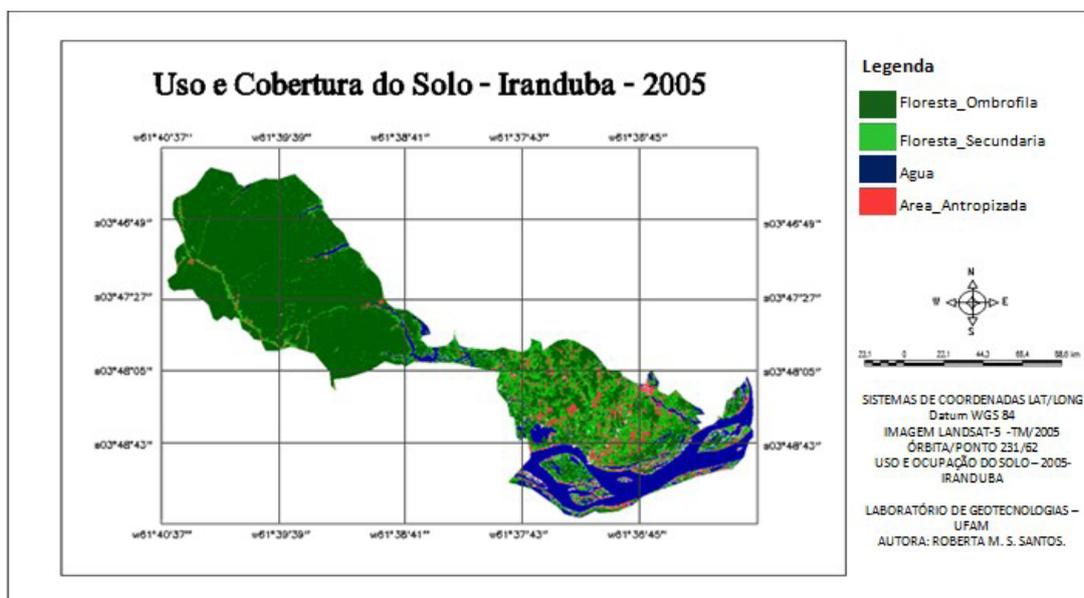
#### 4.1.2. Mapa de Uso e Cobertura do Solo – Ano de 2005.

Os resultados obtidos para o ano de 2005 mostraram que a classe com maior extensão em área (Km<sup>2</sup>) é a Floresta Ombrófila com 63.29% (Tabela 02).

Classe	Área (km <sup>2</sup> )	%
Água	315.362	14.24%
Floresta Ombrófila	1401.503	63.29%
Floresta Secundária	255.191	11.52%
Área antropizada	242.194	10.93%
ÁREA TOTAL	2.214.250	100,00%

**Tabela 02:** Distribuição das classes estudadas no ano de 2005.

Observa-se no mapa (Figura 03), significativa alteração na paisagem, principalmente em relação à Floresta Ombrófila, em relação ao ano de 2005. A vegetação arbórea de grande porte está sendo substituída por áreas de agricultura, pastagem, dentre outras atividades da ação antrópica.



**Figura 03:** Mapa de Uso e Cobertura do Solo do Município de Iranduba, ano de 2005.

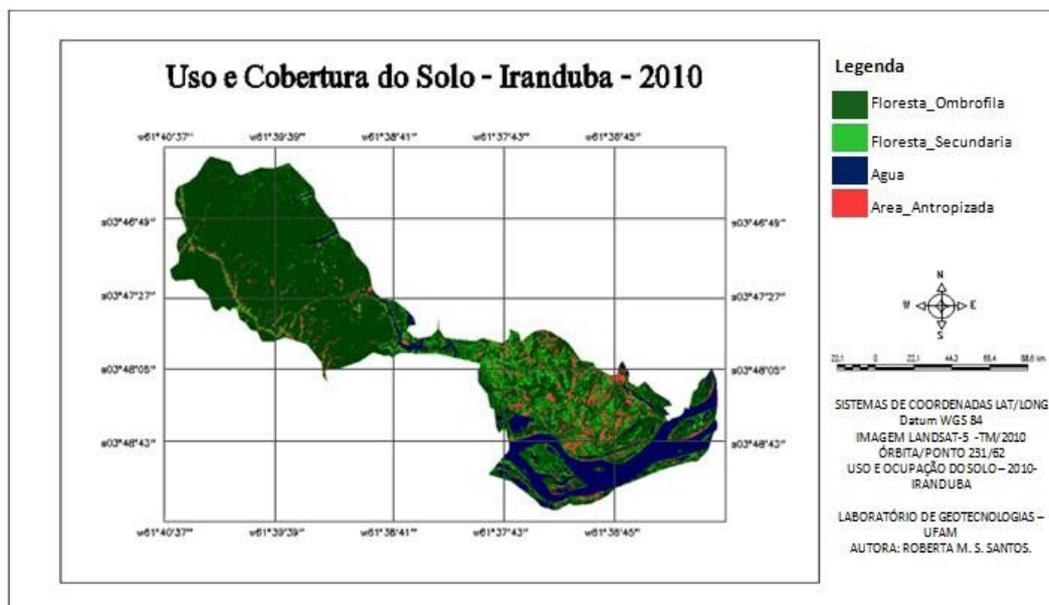
#### 4.1.3. Mapa de Uso e Cobertura do Solo – Ano de 2010.

Quanto ao mapa do ano de 2010, os resultados obtidos mostraram que as classes selecionadas apresentaram as seguintes porcentagens: 14,01% para a classe Água, 50,80% para a classe Floresta Ombrófila, 22,17% para a classe Floresta Secundária e 13,02% para a classe Área antropizada. Os valores em porcentagem e km<sup>2</sup> respectivos a cada classe encontram-se na Tabela 03.

Classe	Área (km <sup>2</sup> )	%
Água	310.137	14,01
Floresta Ombrófila	1.124.926	50,80
Floresta Secundária	490.917	22,17
Área antropizada	288.270	13,02
ÁREA TOTAL	2.214.250	100

**Tabela 03:** Distribuição das classes estudadas no ano de 2010.

Observa-se no mapa (Figura 04), significativa alteração na paisagem, principalmente em relação à Floresta Ombrófila, em relação à data de 2003. A vegetação arbórea de grande porte está sendo reduzida e substituída por áreas de agricultura, pastagem e áreas de expansão urbana.



**Figura 04:** Mapa de Uso e Cobertura do Solo do Município de Iranduba, ano de 2010.

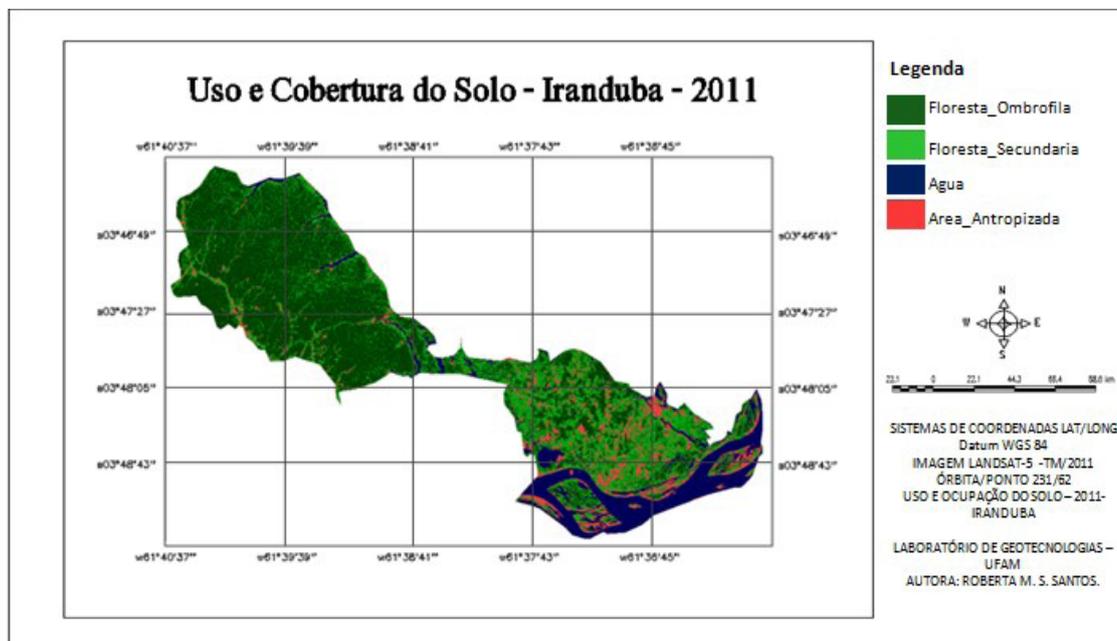
#### 4.1.4. Mapa de Uso e Cobertura do Solo – Ano de 2011.

De acordo com os resultados do mapeamento do uso e cobertura do solo do ano de 2011 as classes em porcentagem selecionadas foram: 13.20% para a classe água, 50.68% para a classe Floresta Ombrófila, 22.36% para a classe Floresta Secundária e 13.75% para a classe Área antropizada. Os valores em porcentagem e km<sup>2</sup> respectivos a cada classe encontram-se na Tabela 04.

Classe	Área (km <sup>2</sup> )	%
Água	292.342	13.20%
Floresta Ombrófila	1.122.243	50.68%
Floresta Secundária	495.123	22.36%
Área antropizada	304.542	13.75%
ÁREA TOTAL	2.214.250	100

**Tabela 04:** Distribuição das classes estudadas no ano de 2011.

O ano de 2011 apresentou as maiores taxas de área antropizada (Figura 05), quando comparado aos outros anos estudados (13.75% correspondente a área total do município). Tal fato pode ser atribuído à construção da Ponte Sobre o Rio Negro que facilitou o acesso ao município de Iranduba, que se tornou uma alternativa de descentralização da expansão urbana do Município de Manaus. Dessa forma, o município tornou-se um atrativo para construtoras, que viram na região uma nova fonte de negócios, através da venda de lotes, casas e apartamentos em condomínios residenciais.



**Figura 05:** Mapa de Uso e Cobertura do Solo do Município de Iranduba, ano de 2011.

#### 4.1.5. Estudo Temporal de Uso e Cobertura do Solo – 2003 a 2011.

Na Tabela 05, são apresentados os valores obtidos para as classes estudadas nos anos de 2003 a 2011. Observa-se redução da vegetação no decorrer dos anos estudados, bem como a substituição da vegetação pela urbanização, agricultura e outros elementos antrópicos de transformação da paisagem natural.

Classes	2003		2005		2010		2011	
	Km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Água	344.388	15.55%	315.362	14.24%	310.137	14,01%	292.342	13.20%
Floresta Ombrófila	1.355.504	61.21%	1.401.503	63.29%	1.124.926	50,80%	1.122.243	50.68%
Floresta Secundária	288.398	13.02%	255.191	11.52%	490.917	22,17%	495.123	22.36%
Área antropizada	225.398	10.17%	242.194	10.93%	288.270	13,02%	304.542	13.75%
ÁREA TOTAL	2.214.250	100,00%	2.214.250	100,00%	2.214.250	100	2.214.250	100

**Tabela 05:** Uso e Cobertura do Solo – 2003 a 2011.

A classe de vegetação Floresta Ombrófila entre os anos de 2003 e 2011, sofreu uma perda de 233.261 km<sup>2</sup>, o equivalente a 10.53% da área total do município. A Floresta secundária, no mesmo intervalo de tempo, teve um crescimento de 206.725 km<sup>2</sup> (9.33 %). Quanto à classe de Área antropizada, mostrou crescimento em todas as datas estudadas, tendo um crescimento de 2003 a 2011 de 79.144 km<sup>2</sup> (3.57%).

Da Cruz e Soares (2010), em trabalho realizado na área de estudo visando o estudo do uso e cobertura do solo dos anos 1998, 2003 e 2009, encontraram resultados semelhantes aos obtidos nesta pesquisa. A classe Floresta que em 1998 recobria 1.560

Km<sup>2</sup> (60,47% da área total do município de Iranduba), em 2003 a sua área passou a ocupar 1.355 Km<sup>2</sup> (52,53%) e no ano de 2009 essa área reduziu para 1.381 Km<sup>2</sup> (53,34%). A classe Solo exposto é o segundo maior uso no ano de 2003 com 505 Km<sup>2</sup> (14,38%), contudo essa classe em 2009 corresponde a 271 Km<sup>2</sup> (10,46%). A classe vegetação rasteira em 1998 ocupava uma área de 364 Km<sup>2</sup> (14,38%), havendo uma redução no ano de 2009 ocupando uma área correspondente a 358 Km<sup>2</sup> (13,34%). A classe Hidrografia que engloba água (rios e lagos) em 1998 possuía uma área de 505 Km<sup>2</sup> que correspondia a 19,59% da área do município, em 2003 e 2009 representou uma área de 343 e 579 Km<sup>2</sup> respectivamente, isso pode ser explicado pelo processo de subida e descida do rio.

Gonzaga (2009) em estudo realizado na área de influência da Rodovia Manoel Urbano (AM 070 – Iranduba) utilizando ferramentas geotecnológicas para analisar a dinâmica de ocupação da terra nos anos de 1991 e 2007, identificou que a Classe Floresta Ombrófila entre os anos de 1991 e 2007 sofreu redução de 13.3%.

Quanto à floresta secundária (capoeira) no ano de 1991 8.1% da área era ocupado por este tipo de vegetação, apenas na área de influência da estrada. No ano de 2007, este número saltou para 16.3% (um crescimento superior a 100%).

## **4.2. Estudo da Qualidade Ambiental utilizando o índice de Cobertura Vegetal (ICV) e do índice de Cobertura Vegetal por Habitante (ICVH)**

O processo de expansão urbana, iniciado a partir da década de 1960, é atribuído principalmente à construção da Rodovia Manoel Urbano, que ocasionou na desconfiguração da paisagem ao longo da rodovia.

Além da expansão urbana, outros fatores que têm contribuído para a perda de vegetação no município é a retirada de madeira para ser utilizada como lenha nas olarias, retirada de argila e também a ampliação das áreas de agricultura e pecuária. Outro fator que tem ocasionado perda de vegetação no município é a extração de argila para abastecimento do Pólo Cerâmico, na fabricação de tijolos e telhas, uma das principais atividades econômicas locais.

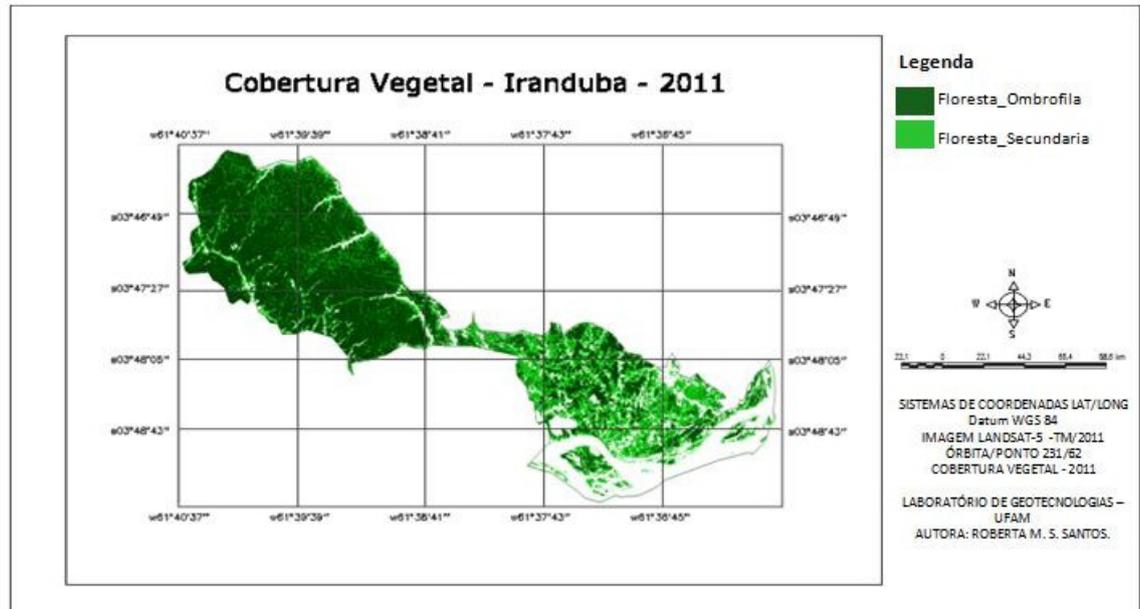
O município está inserido em uma Unidade de Conservação Estadual, a Área de Proteção Ambiental (APA) Margem Direita Setor Paduari-Solimões.

De acordo com dados do IPAAM (2012) APA da Margem Direita do Rio Negro Setor Paduari/Solimões (14,1%) é uma das APA's com maior taxa de desmatamento. De acordo com Prestes (2011), a causa principal do desmatamento na APA Paduari/Solimões, que já teve mais de 64 mil hectares desmatados, é a proximidade com a rodovia AM-070.

### **4.2.1. Cobertura Vegetal do Município de Iranduba, Amazonas.**

Os resultados obtidos neste mapa (Figura 06) indicam que 50.68% (1.122.243

km<sup>2</sup>) do município é ocupado pela classe Floresta Ombrófila e que 13.20% (495.123 km<sup>2</sup>) é ocupado pela classe Floresta Secundária. Através do mapa, observa-se que há significativa mudança no tipo de vegetação na área de estudo em relação à data estudada. A vegetação arbórea tem sido substituída ou por outro tipo de vegetação (agricultura, pastagem) ou por outro fator característico de ação antrópica, como a expansão urbana.



**Figura 06:** Mapa de Cobertura Vegetal – Iranduba.

A partir do mapa gerado, no qual foram calculadas as áreas pertencentes a cada classe de vegetação, realizou-se o cálculo dos índices propostos: Índices de Cobertura Vegetal (ICV) e Cobertura Vegetal por Habitante (ICVH).

Os resultados do cálculo dos Índices de Cobertura Vegetal (ICV) e de Cobertura Vegetal por Habitante (ICVH) permitiu fazer um balanço sobre a qualidade ambiental da área de estudo, utilizando os dados sobre a população residente, cerca de 41.373 habitantes (IBGE, 2011), área do município 22142.500m<sup>2</sup> e da área de vegetação que foi de 1617.366 m<sup>2</sup>.

O ICV, calculado utilizando os dados de população residente, área do município e área de vegetação, foi de 73.05 %. Dessa forma, o Índice de Cobertura Vegetal (ICV) do município de Iranduba que foi obtido está acima do índice recomendável de cobertura vegetal, na faixa de 30%, que de acordo com Lombardo (1985), é capaz de proporcionar um adequado balanço térmico.

Segundo Pauleit e Duhme (1995), na cidade de Munique, na Alemanha, estudos estabeleceram objetivos para a cobertura vegetal para todos os setores da cidade, sendo que, em toda a cidade, no mínimo 50% de toda cobertura vegetal deveria ser constituída por floresta.

Apesar do desmatamento acima dos níveis aceitos pelos órgãos ambientais, o município de Iranduba apresenta um Índice de Cobertura Vegetal acima do nível aceito

segundo Lombardo (1995), o que mostra que o município ainda possui vegetação para promover o conforto térmico para a população.

A porção sul do município encontra-se mais degradada, tendo em vista sua proximidade com o município de Manaus, apresenta cobertura vegetal distribuída de forma heterogênea e fragmentada. É o espaço geográfico na qual se encontra a área urbana do município.

A parte norte, por estar mais afastada do centro urbano e de difícil acesso, torna a área mais preservada, com poucos pontos de antropização.

O ICVH foi calculado pela divisão do Índice de Cobertura Vegetal pelo número total de habitantes do município, onde se obteve 1.765, por habitante, que está diretamente relacionado à pequena proporção de população residente e a grande área do município. O referido índice obtido foi satisfatório.

## 5 | CONCLUSÕES

A situação ambiental do município de Iranduba no atual cenário constatado encontra-se em estado de vulnerabilidade. Dentre as causas, pode-se citar o acentuado processo de expansão urbana, a retirada de lenha e argila para abastecimento do Pólo Cerâmico, a expansão da agricultura e pecuária. Cada um dos processos impactantes citados acarreta em desflorestamento.

A utilização de imagens do satélite LANDSAT em estudos ambientais, como a análise do uso e cobertura do solo realizada nesta pesquisa, possibilitou contabilizar as áreas de desflorestamento, mostrando-se satisfatória para o objetivo proposto.

Por meio do mapeamento do uso e cobertura da terra dos anos 2003, 2005, 2010 e 2011, verificou-se a perda de cobertura vegetal, revelando um alto grau de antropização.

Os índices, indicativos de qualidade ambiental, foram satisfatórios e mostrando que apesar da pressão antrópica na área, a vegetação existente ainda é suficiente para promover conforto térmico e outros serviços ambientais provenientes de áreas verdes.

## REFERÊNCIAS

BARBOSA, Í. S. ANDRADE, L. A. ALMEIDA, J. A. P. de. **Evolução da cobertura vegetal e uso agrícola do solo no município de Lagoa Seca, PB.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Vol.13, nº5. Campina Grande. 2009.

CBNMANAUS. **Plano de Desmatamento reforçará fiscalização ambiental nos municípios da Região Metropolitana.** Disponível em: <http://www.cbnmanaus.com.br/site/noticia.php?cod=2778>. Acesso em 29/04/2018.

DA CRUZ, M. E. G.; SOARES, C. B. S. S. **Análise temporal de uso e ocupação da terra do município de Iranduba entre o período de 1998 a 2009.** Anais do I Seminário Internacional de

Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia. 2010.

FERREIRA, N. C. Apostila de Sistema de Informações Geográficas. Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás – Sistemas de Informações Geográficas. GOIANIA, 2006.

FERREIRA, E. MACHADO, R. V. ANDRADE, H. **Sensoriamento Remoto**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2000.

FERREIRA, A. B.; SANTOS, C. R.; BRITTO, J. L. S.; ROSA, R. **Análise comparativa do uso e ocupação do solo na área de influência usina hidrelétrica Capim Branco I A partir de técnicas de geoprocessamento**. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia. 2005.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de textos, 2002.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GONZAGA, J. R. C. **Estudo da dinâmica de ocupação da terra na área de influência da rodovia Manoel Urbano – AM 010, por meio de ferramentas geotecnológicas**. Dissertação de Mestrado. UFAM. 2009.

GONÇALVES, C. W. P. **Amazônia, Amazônias**. 3. ed. São Paulo: Contexto: 2012.

GONÇALVES, C. A.; MEIRELLES, A. de M. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. São Paulo: 2004.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em: 20/01/2011.

\_\_\_\_\_. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Aglomerados Subnormais no Censo 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/00000006923512112011355415675088.pdf>>. Acesso em 12 de Nov 2016

\_\_\_\_\_. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Biblioteca**. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/dtbs/amazonas/iranduba.pdf>. Acesso em 10/02/2012.

\_\_\_\_\_. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2000**. Resultados preliminares. Rio de Janeiro, IBGE, 2000.

\_\_\_\_\_. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**. Resultados preliminares. Rio de Janeiro, IBGE, 2010.

INPE. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Disponível em: [www.inpe.br/](http://www.inpe.br/). Acesso em: 20/11/2011.

IPAAM. Instituto de Proteção Ambiental do Estado do Amazonas Disponível em: [www.ipaam.br/](http://www.ipaam.br/). Acesso em: 20/05/2012.

KLEINPAUL, J. J. et. al. **Análise Multitemporal da Cobertura Florestal da Microbacia do Arroio Grande, Santa Maria, RS**. Bol. Pesq. Fl., Colombo, n. 51, p. jul./dez. 2005

LOMBARDO, M.A. **Ilha de calor nas metrópoles. O exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1995, 244p.

LOPES, L. H. M. **Uso e cobertura do solo no município de Tailândia- utilizando o tm/landsat e técnica de classificação não-supervisionada.** ENGEVISTA, v. 10, n. 2, p. 126-132 dezembro 2008.

MELAZO, G. C. **Mapeamento da cobertura arbóreo-arbustiva em quatro bairros da cidade de Uberlândia – MG.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia. 2008.

NOGUEIRA, A. C. F.; SANSON, F. PESSOA, K. **A expansão urbana e demográfica da cidade de Manaus e seus impactos ambientais.** Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 2007.

NOVO, E. M. L. de Moraes.. **Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações.** 2º Edição. Ed. Blucher. São José dos Campos, 1992.

OLIVEIRA, C.H.; SANTOS, J.E. ; PIRES, J.S.R. **Indicadores de arborização urbana da cidade de São Carlos (SP) com o uso do SIG-IDRISI.** Brazilian Journal of Ecology, ano 03, n.1, p. 01-09. 1999.

PAULEIT, S., DUHME, F., 1995. **Developing quantitative targets for urban environmental planning, land contamination.** Land Contam. Reclamat. 3 (2), 64–66.

PRESTES, M. **Desmatamentos já atingiram 144 mil hectares nas unidades de conservação da Região Metropolitana de Manaus.** 25 de Novembro de 2011. Jornal Acritica.

ROSA, R. **Geotecnologia na Geografia Aplicada.** Revista do Departamento de Geografia. N°16. 2005. Pags. 81-90.

SCHLINDWEIN, J. R. et al. **Mapeamento do uso e cobertura do solo do município de Caxias do Sul (RS) através de imagens do satélite CBERS.** XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 1103-1107.

SILVA, E. L., MENEZES, E. M. (2000) **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.** Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

SIPAM. **Produtos Gerados a partir do Sensoriamento Remoto Para o Município de Iranduba - AM.** Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia. 2010.

VICENS, E. V. et al. **Sensoriamento Remoto e SIG como suporte ao desenvolvimento do subprojeto PROBIO.** Conservação e Recuperação da Floresta Atlântica, 2001.

## EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO SISTEMA ESTUARINO DA BAÍA DE VITÓRIA - SEBV E IMPLICAÇÕES PARA O GRADIENTE FLÚVIO-ESTUARINO

### **Fernando Jakes Teubner Junior**

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística –  
IBGE

Supervisão de Bases Territoriais – ES

Av. Nossa Senhora dos Navegantes, 675, 9º  
andar, Sala 903. 29050-912 – Vitória - ES, Brasil

fernando.t.junior@ibge.gov.br

### **Gilberto Fonseca Barroso**

Laboratório de Limnologia e Planejamento  
Ambiental

Departamento de Oceanografia e Ecologia,  
Universidade Federal do Espírito Santo.

Av. Fernando Ferrari, nº 514, Vitória, ES,  
Brasil. CEP 29075-910.

gfbarroso@gmail.com

**RESUMO:** Com uma população estimada em 1.159.350 habitantes em 2010, as bacias tributárias para o Sistema Estuarino da Grande Vitória - SEBV comportam mais de 72,0 % da população dos municípios abrangidos. A população da região, aumentou cerca de 400,0 % no período de 40 anos (1970-2010). O desenvolvimento foi alavancado principalmente pelos municípios localizados na Região Metropolitana de Vitória. Tendo como base imagens do satélite LANDSAT, o uso e cobertura da terra referente aos anos de 1987 e 2013 foi mapeado nas bacias hidrográficas tributárias do Sistema Estuarino da Baía de Vitória – SEBV. Constata-se diminuição das

áreas naturais (i.e, florestas) e também das seminaturais (i. e., agricultura e pecuária), com um aumento considerável das áreas urbano-industriais, potencializando o aumento das emissões de nutrientes e comprometimento da qualidade das águas no sistema estuarino.

**PALAVRAS-CHAVE:** sistema estuarino, dinâmica do uso e cobertura da terra, emissões de nutrientes.

**ABSTRACT:** Vitoria Bay Estuarine System – SEBV (42.9 km<sup>2</sup>), in the metropolitan area of Vitória (ES), receives the drainage of ten river basins (1.925 km<sup>2</sup>). In 2010, there were 1,159,350 inhabitants in the watershed, 400 % more than in 1970. Municipalities located in the Vitoria metropolitan have fostered the fast development of the drainage basin. As a consequence the basin development has driven intensive land use changes in the watershed. In order to assess land use changes between 1987 and 2013, Landsat 5 TM and 8 ETM+ satellite imagery, respectively, were classified for land use. Results shown that has been a decrease in natural and in semi-natural areas, forest and cropland/pastureland areas, respectively, and a significant increase in urban-industrial areas. The current land use setting increases land-based nutrients emissions, impairing water quality in estuarine system.

**KEYWORDS:** estuarine system, land use

## 1 | INTRODUÇÃO

Na análise do uso e ocupação da zona costeira é possível constatar que as atividades antrópicas (e.g. urbanização, agropecuária, pesca e infraestrutura) compartilham esse espaço geográfico. Nesse contexto, Ferrier *et al.*, (2010) afirmam que as atividades de uso da terra, particularmente agricultura e produção de biocombustíveis, atividades florestais, drenagem do solo para urbanização e processos industriais, influenciam a qualidade e a disponibilidade da água. Os rios, lagos, áreas úmidas e estuários estão sob constante pressão oriunda de fontes de poluição decorrentes dos usos da terra, alterações morfológicas na paisagem e perda de conectividade entre os diferentes sistemas aquáticos da bacia hidrográfica. A transferência de energia e materiais do continente para o oceano costeiro indicam que a qualidade das águas e rios, assim como o funcionamento dos ecossistemas dulcícolas e marinhos costeiros são dependentes da condição da cobertura florestal e do uso e gestão da terra em bacias hidrográficas costeiras.

Para Meybeck & Vorosmarty (2005) os usos da terra e das águas, assim como os resíduos gerados pelas atividades humanas, estão alterando profundamente a produção de materiais originados por processos fluviais por meio da aceleração dos ciclos biogeoquímicos (e.g. fixação de  $N_2$ , eutrofização, transferência de metais, etc.). Segundo estes autores, o ciclo hidrológico torna-se mais controlado por fatores antrópicos do que por processos naturais, como o clima, relevo ou litologia. Em regiões costeiras intensamente ocupadas as interações dos fluxos hidrológicos não são completamente conhecidas e, conseqüentemente, ainda não considerados nas iniciativas de gestão integrada de recursos hídricos.

A gestão dos indutores antrópicos de mudanças ambientais na zona costeira constitui o maior desafio para o gerenciamento costeiro. Nesse sentido, deve-se levar em consideração que grande parte das pressões causadoras de alterações ambientais na zona costeira é originada de atividades baseadas em terra, ou seja, nas bacias hidrográficas. Mudanças na drenagem através de alterações nos fluxos de água, sedimentos, nutrientes e contaminantes tornam imprescindível o enfoque no gradiente flúvio-estuarino (Crossland *et al.*, 2005; Salomons *et al.*, 2005). O conhecimento da evolução do uso da terra e características socioeconômicas é fundamental para entender essas relações.

O IBGE (2015) destaca ainda que as alterações ocorridas na cobertura e uso da terra estão intrinsecamente relacionadas às atividades humana, num processo de apropriação que transforma os recursos naturais. Assim, a avaliação sistemática e periódica das alterações ocorridas na cobertura e uso da terra é uma forma de avaliar esta inter-relação, fornecendo subsídios ao ordenamento territorial e ao

desenvolvimento sustentado das atividades humanas. Para Arastoo & Ghazaryan (2013) o uso e cobertura da terra e sua dinâmica são variáveis importantes que afetam o meio ambiente e os processos ambientais. Wagner & Zalewski (2009) ressaltam que as mudanças nos usos da terra precisam ser consideradas, sobretudo quanto à tomada de decisões em relação à alocação de espaço em regiões de desenvolvimento urbano intensivo, visando harmonizar a estética da paisagem das cidades, mas sobretudo às relações ecológicas dos sistemas que configuram a paisagem.

O Sistema Estuarino da Baía de Vitória - SEBV e suas bacias hidrográficas tributárias podem ser considerados como um estudo de caso relevante devido à intensiva atividade portuária e, principalmente, e pelos despejos de esgotos domésticos e de poluentes industriais, deposição de resíduos sólidos, contaminação por agrotóxicos e pesca predatória (AGERH, 2015). Como resultado, observa-se a supressão de ambientes naturais (e.g. manguezais, florestas de restinga), perda de valores estéticos e paisagísticos, redução do potencial turístico e da pesca, aumento da proliferação de patologias de veiculação hídrica, comprometimento da qualidade e disponibilidade das águas para abastecimento público e prejuízos socioeconômicos (Vianna, 2009).

## 2 | METODOLOGIA

Apartir da delimitação das bacias tributárias do SEBV (Figura 1), foram identificados os limites políticos administrativos aos quais as bacias pertencem, o que permitiu direcionar a identificação e análise dos dados socioeconômicos, fundamentando a base de informações sobre a área de estudo.

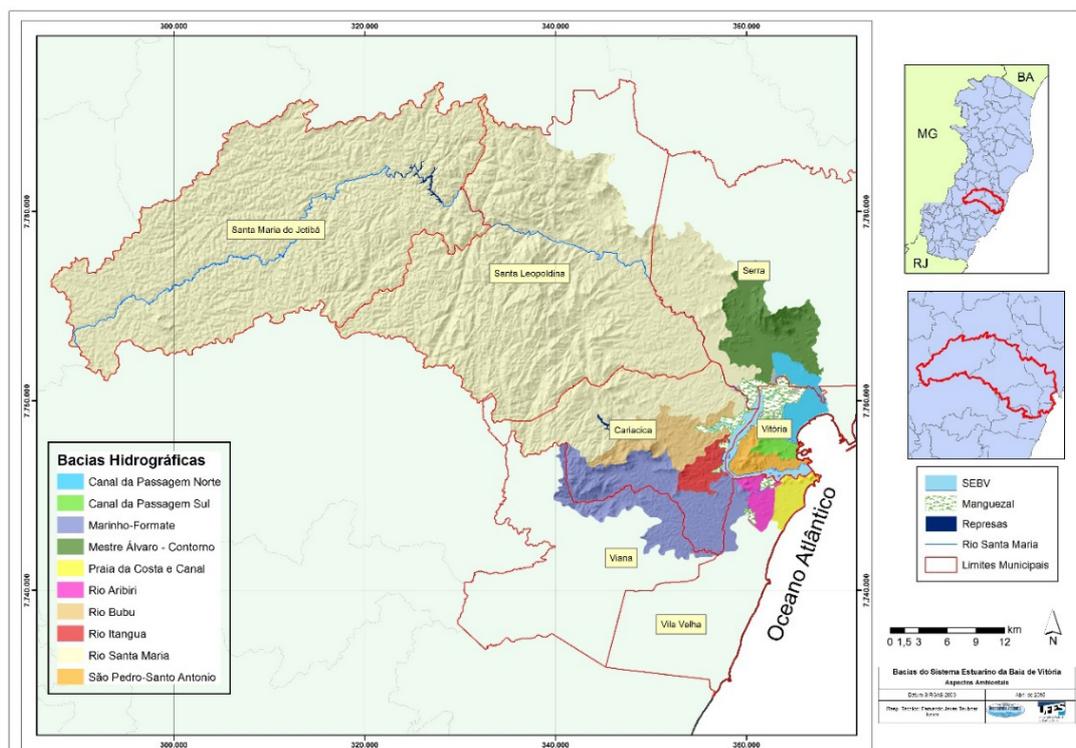


Figura 1: Municípios abrangidos e bacias hidrográficas tributárias do SEBV.

A caracterização demográfica foi baseada nos Censos Demográficos de 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, enquanto os indicadores econômicos dos municípios do estado do Espírito Santo, Produto Interno Bruto - PIB e produção econômica relativos ao período de 1999 a 2010, foram baseadas no Instituto Jones dos Santos Neves – IJSN. As imagens do satélite LANDSAT 5 TM e LANDSAT 8 ETM+ para as décadas de 1980, 1990, 2000 e 2010 foram levantadas junto ao acervo da Divisão de Geração de Imagens – DGI do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

As imagens selecionadas foram processadas em ambiente ESRI ArcGIS 10.1. As bandas (3, 4 e 5 do LANDSAT 5 e 4, 5 e 6 do LANDSAT 8) foram primeiramente agrupadas através da ferramenta *Composit Bands*, criando assim um único *Raster Dataset* composto pelas 3 bandas espectrais. Em seguida, as cenas foram recortadas utilizando a função *Extract by Mask*, tendo como máscara um polígono que delimita toda a área de drenagem do SEBV. A imagem recortada (com resolução espacial de 30 metros e formato .tiff) foi, então, exportada para o ambiente INPE Spring 5.2.3 para posterior classificação supervisionada. Uma vez que não foram realizadas visitas de campo, foram utilizadas imagens do Google Earth para maior resolução na visualização, o mapeamento de uso da terra de 2010 (Lorena *et al.*, 2013), fotografias aéreas (IEMA, 2008) e características dos alvos (textura e cor) nas imagens LANDSAT. Para a classificação supervisionada foram definidas as seguintes classes de uso, conforme compartimentos da paisagem (Odum & Odum, 1972): sistemas naturais (classes de floresta, mangue, restinga, áreas úmidas e afloramentos rochosos), seminaturais (classes de agricultura, pastagem e reflorestamento) e urbano-industriais (classes de áreas urbanas, solo exposto). Conforme Brites *et al.*, (2012) a classificação supervisionada produz índices de exatidão mais elevados, sendo utilizado o algoritmo Bhattacharyya. Com a etapa de classificação concluída foi feita a quantificação da evolução, com base nas áreas (m<sup>2</sup>) dos compartimentos da paisagem ao longo das décadas. As respectivas taxas de alteração, foram obtidas utilizando a ferramenta *Zonal Statistics as Table* do módulo *Spatial Analyst Tool/Zonal* do software ESRI ArcGIS 10.1. Após o tratamento e classificação das imagens, na comparação entre as imagens de 1987 e 2013, constatou-se uma pequena variação nas áreas dos diferentes compartimentos da paisagem. Assim, foram analisados apenas os resultados referentes as imagens desses dois períodos (Tabela 1).

Satélite	Sensor	Bandas	Resolução espacial	Data da passagem
LANDSAT 5	TM	3, 4 e 5	30 m	20/09/1987
LANDSAT 8	ETM+	4, 5 e 6	30 m	23/09/2013

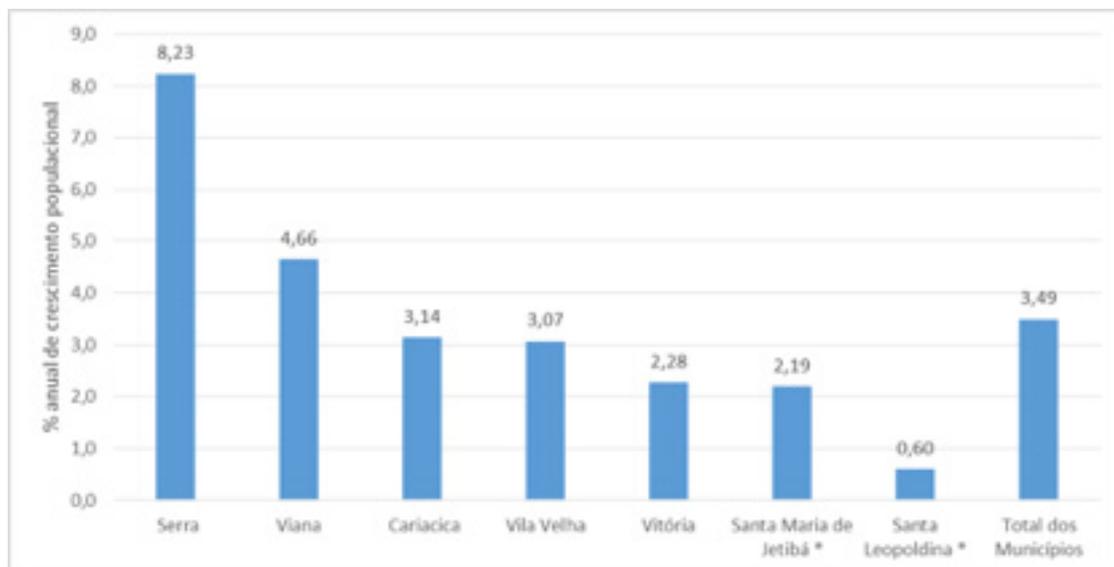
Tabela 1: Imagens de satélite utilizadas no estudo.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

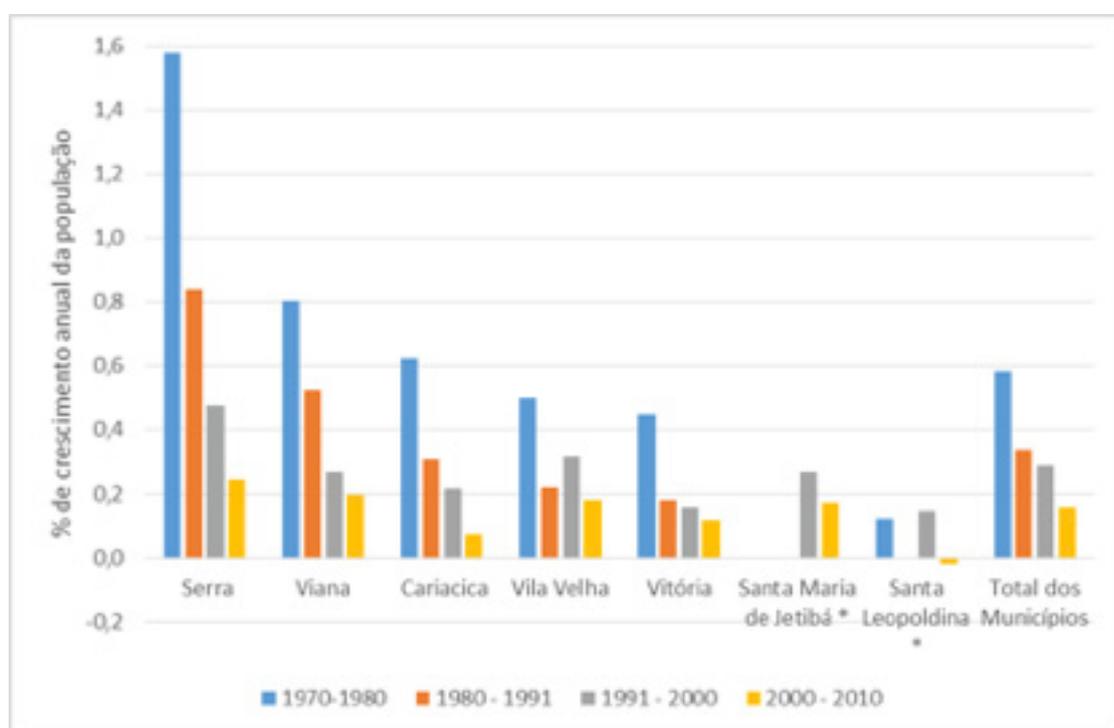
### 3.1 Demografia

Os sete municípios abrangidos pelas bacias hidrográficas tributárias do SEBV (Santa Maria de Jetibá, Santa Leopoldina, Serra, Vila Velha, Cariacica, Viana e Vitória) possuem um total de 46 % da população estadual, o equivalente a 1.611.809 habitantes em 2010 (IBGE, 2010). Quando comparado com a população total das bacias (1.159.350 habitantes), constata-se que a população existente nas bacias tributárias do SEBV representa 72 % da população total dos municípios abrangidos pelas bacias (Teubner Junior, 2016). A população desses municípios, particularmente Vitória, Serra, Cariacica, Viana e Vila Velha, é resultante de um processo que se iniciou com a implantação de projetos industriais a partir da década de 1970, que atraíram para a cidade a população rural capixaba que ficou desempregada após a erradicação dos cafezais nos anos de 1966 e 1967 (Rocha & Morandi, 2012). Houve, ainda, uma considerável migração de outros estados do país, deflagrando o problema do crescimento populacional desordenado. Assim, ao longo das décadas de 1960 a 1980, o conglomerado urbano foi expandido e os problemas sociais multiplicados.

Os municípios da Grande Vitória (i.e. Cariacica, Serra, Viana, Vila Velha e Vitória) tiveram aumento de 222 %, passando de 706.244 para 1.565.393 habitantes ao longo do período estudado (1970 – 2010). Na análise dos dados populacionais, a evolução da população do município de Serra, que passou de 17.286 para 409.267 habitantes, um incremento de 2.367 % no período, apresentou uma taxa de crescimento de 8 % ao ano (Figura 2a), quase o dobro do segundo maior crescimento, em Viana, e muito superior aos demais municípios (Teubner Junior, 2016). Cabe ressaltar, no entanto, que não foi apenas a expansão da população de Serra que fomentou o uso e ocupação nas áreas das bacias que drenam para o SEBV. Quando avaliados por décadas, as taxas de crescimento da população apresentam seus maiores valores no período compreendido entre 1970 e 1980 (Figura 2b). Os maiores incrementos demográficos coincidem com o processo de reformulação da matriz econômica do estado, que resultou em diversificação e modernização, além da implantação de diversos projetos industriais na região da Grande Vitória (Rocha & Morandi, 2012).



a

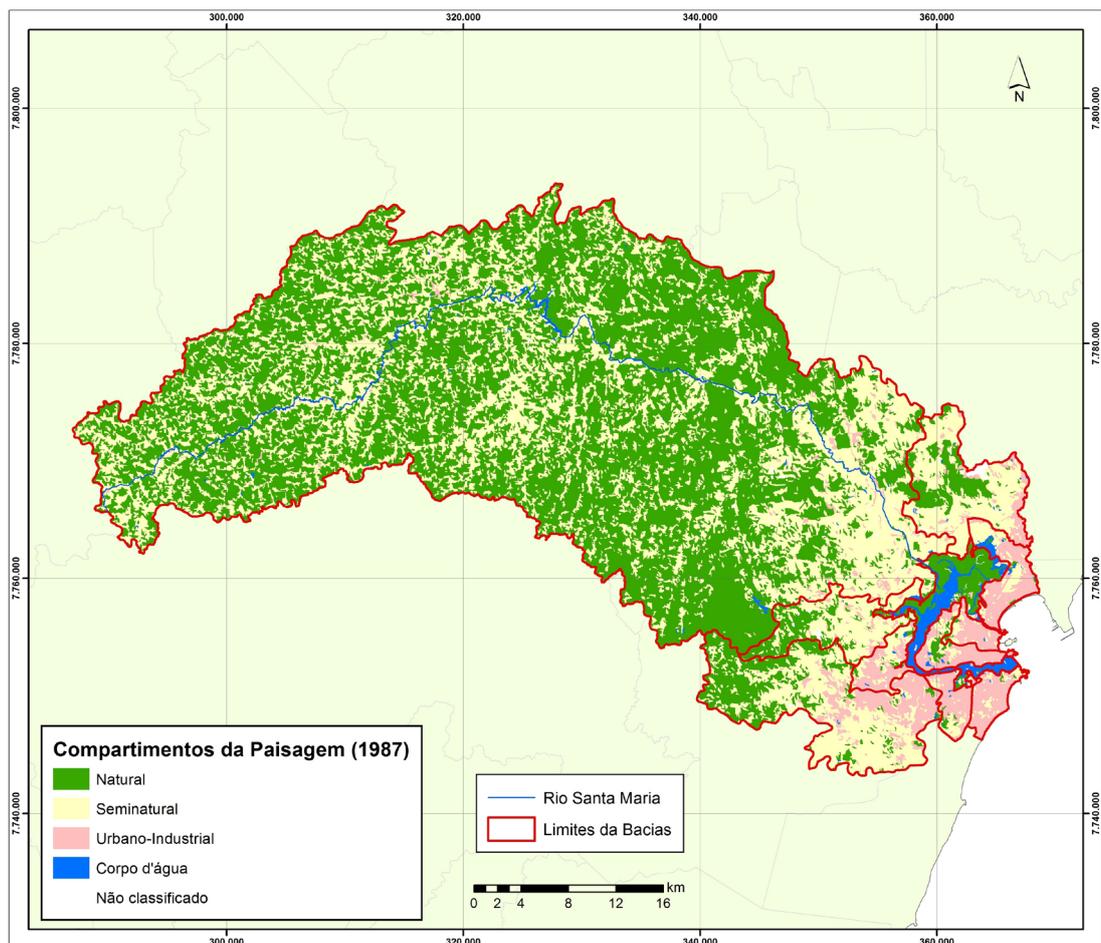


b

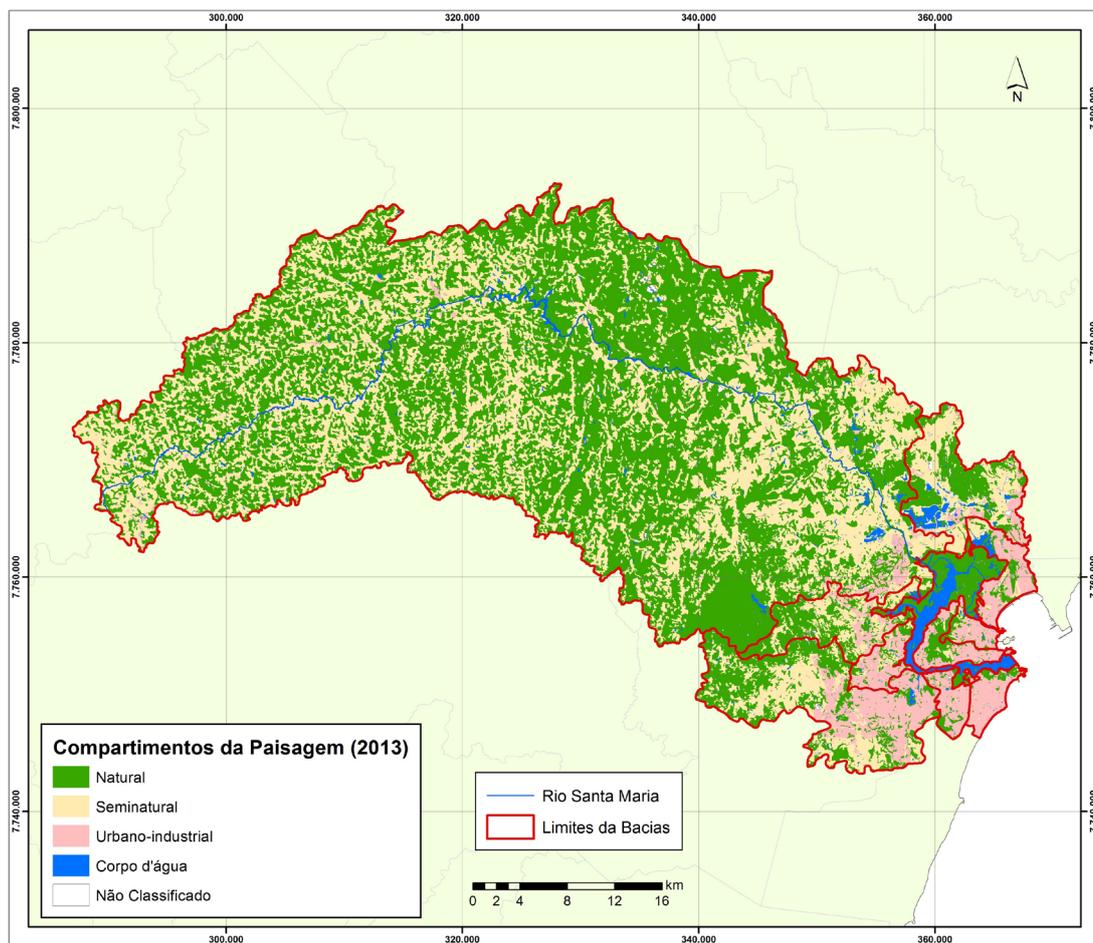
Figura 2: Taxa de crescimento anual da população nos municípios das bacias hidrográficas: a:1970 – 2010; b: segmentado por décadas

### 3.2 Evolução do uso da terra: 1980-2010

A análise das alterações no uso da terra é fundamental para o entendimento e quantificação da sua evolução, tendo como base as áreas ocupadas pelos diferentes compartimentos da paisagem no período estudado. As diferenças encontradas permitem a quantificação da taxa de alteração, assim como a sua qualificação nos compartimentos da paisagem, indicando quais os fatores indutores dessa transformação. Arastoo & Ghazaryan (2013) destacam que a partir de uma década pode ser considerada uma escala de tempo adequada para a identificação das alterações no uso e cobertura da terra decorrente das atividades antropogênicas. Os resultados da classificação das imagens são apresentados na Figura 3 e Tabela 2.



a



b

Figura 3: Compartimentos da paisagem nas bacias tributárias do SEBV nos anos de 1987 (a) e 2013 (b).

Compartimentos	Área 1987 (km <sup>2</sup> )	Área 2013 (km <sup>2</sup> )	Alteração (km <sup>2</sup> )	Variação (%)
Natural	1.069,1	1.049,6	-19,4	-1,8
Seminatural	736,1	718,8	-17,4	-2,4
Urbano-Industrial	122,2	135,6	13,4	10,9

Tabela 2: Áreas dos compartimentos da paisagem nos diferentes períodos mapeados.

Com base nesses resultados, constata-se a redução das áreas naturais (i.e., florestas) e seminaturais (i.e., agricultura e pecuária), com aumento considerável das áreas urbano-industriais em 11,0 %. O crescimento das áreas urbanas é reflexo do considerável aumento e concentração da população nos municípios pertencentes à Grande Vitória.

A retração da cobertura florestal representa comprometimento da qualidade ambiental das bacias hidrográficas tributárias do SEBV. Para Missio *et al.*, (2004), uma maneira de avaliar a qualidade ambiental de uma bacia hidrográfica é a porcentagem da paisagem ocupada por floresta e a sua manutenção ao longo do tempo. Estudos realizados pelos autores em cinco bacias hidrográficas no estado do Rio Grande do Sul

confirmaram o comprometimento da qualidade ambiental, decorrente da fragmentação e da perda de áreas naturais. No caso das bacias do SEBV a transformação foi analisada ainda pela sobreposição das áreas ocupadas pelos diferentes compartimentos da paisagem (naturais, seminaturais e urbano-industriais) em 1987 com os remanescentes de 2013, o que permite quantificar a alteração de cada compartimento (Tabela 3).

Compartimentos (1987)	Área (km <sup>2</sup> )	Compartimentos 2013 - Área (km <sup>2</sup> )		
		Natural	Seminatural	Urbano - industrial
Natural	1.069,1	808,1	244,0	3,2
Seminatural	736,1	214,9	455,6	45,9
Urbano-Industrial	122,2	19,1	15,0	84,5

Tabela 3: Tabulação cruzada (*area cross tabulation*) dos compartimentos da paisagem das bacias tributárias do SEBV em 1987 e a sua correspondência no mapeamento de 2013.

Do total de 1.069 km<sup>2</sup> classificados como áreas naturais em 1987, 244 km<sup>2</sup> foram classificados como seminatural em 2013 e 3,2 km<sup>2</sup> como urbano-industriais. Para os compartimentos seminaturais, de um total de 736 km<sup>2</sup> em 1980, 215 km<sup>2</sup> foram classificados como natural e 46 km<sup>2</sup> como urbano-industrial em 2013. Isso indica uma expansão das áreas agrícolas e urbano-industrias em substituição às áreas de vegetação natural, assim como uma expansão das áreas de ocupação urbana para áreas anteriormente ocupadas por atividades agropecuárias.

A expansão das áreas de florestas pode ser decorrente do método utilizado na classificação automática das imagens. Polígonos de classificação podem englobar pixels, cujo número de classes escapa ao “filtro” de similaridade, pixels que irão afetar os parâmetros estatísticos e aumentar o potencial de erros da classificação. O erro de classificação ocorre quando elementos (pixels) estatisticamente distintos, são considerados em uma mesma classe (Brites *et al.*, 2012). Dessa forma, áreas de silvicultura (que tiveram uma grande expansão nos municípios de Santa Leopoldina e Santa Maria de Jetibá nesse período) podem ter sido classificadas como florestas, associada a tendência de aumento da cobertura florestal, conforme constatado por Crepaldi (2015). Tendo como base o trabalho de Lorena *et al.*, (2013), as áreas de silvicultura representam 12,8 e 21,9 % da área total dos municípios de Santa Leopoldina e Santa Maria de Jetibá, respectivamente. Cabe ressaltar que o classificador Bhattacharya apresentou desempenho superior quando em comparação a outros classificadores da mesma natureza, em estudos visando a delimitação do uso e cobertura da terra na região costeira do extremo sul da Bahia (Leão *et al.*, 2007), quanto na delimitação de culturas de cana-de-açúcar no interior do estado de São Paulo (Oliveira & Matavelli, 2013).

Como avaliação geral, observa-se que houve uma expansão das áreas urbano-industriais, o que seria esperado, em função do aumento populacional e de atividades produtivas na Grande Vitória. Também houve expansão das atividades agropecuárias,

notadamente no município de Santa Maria de Jetibá, o que é confirmado pelo PIB do ano de 2010, com a agropecuária contribuindo com mais da metade do PIB municipal (IJSN, 2015). O município ainda possui a maior participação do setor agropecuário na composição do PIB estadual, com 7,1 % (Tresinari, 2012).

A pressão de transformação da paisagem é prioritariamente direcionada para áreas já alteradas, porém, a conversão da cobertura florestal em áreas de uso antrópico ainda ocorre (Teubner Junior, 2016). Dessa forma, cabe ressaltar que alterações do uso da terra, como expansão de áreas agrícolas e desenvolvimento industrial, além de fatores como mudanças climáticas, podem afetar os ciclos hidrológicos, conforme constatado por Chen *et al.*, (2014) para o lago Poyang na China. Para Rodrigues & Foresti (2004) a avaliação da dinâmica do uso da terra é um importante instrumento para intervenção e manejo de bacias hidrográficas. O estudo realizado pelos autores na bacia hidrográfica do Ribeirão Claro (SP) concluiu que a expansão das áreas agrícolas e de pastagem potencializa fatores de aumento da vulnerabilidade do solo à degradação e comprometimento da qualidade das águas. Resultados semelhantes foram obtidos por Li *et al.*, (2012) na bacia hidrográfica do rio Liao na China.

O IBGE (2015) destaca ainda que as alterações ocorridas na cobertura e uso da terra estão intrinsecamente relacionadas às atividades humana, num processo de apropriação que transforma os recursos naturais. Esse processo configura uma estreita inter-relação entre aspectos socioeconômicos, mudanças na cobertura e uso da terra e questões ambientais regionais e globais. Assim, a avaliação sistemática e periódica das alterações ocorridas na cobertura e uso da terra é uma forma de avaliar esta inter-relação, fornecendo subsídios ao ordenamento territorial e ao desenvolvimento sustentado das atividades humanas. Para Arastoo & Ghazaryan (2013) o uso e cobertura da terra e a sua dinâmica são variáveis importantes que afetam o meio ambiente e os processos ambientais. A análise dessas mudanças é um processo que possibilita a observação e a detecção das diferenças e semelhanças espaciais e temporais de uma variedade de fenômenos e padrões da superfície da terra. Esses autores destacam que esse tipo de estudo permite a obtenção de várias informações como a área alterada e respectiva taxa, a sua distribuição espacial, o padrão dessas mudanças nos diferentes tipos de uso e cobertura, assim como auxiliar na implementação de medidas corretivas para o seu controle.

Conforme Meybeck & Dür (2009) alterações no uso da terra (e.g. desmatamento, agricultura, mineração) geram fontes adicionais de materiais nas bacias hidrográficas, com a industrialização, urbanização e agricultura intensiva resultando em aumento na concentração de nutrientes, metais e sais dissolvidos e, conseqüentemente, assoreamento e eutrofização nos corpos d'água. Com a drenagem e aterro das áreas úmidas, retificação de cursos d'água, dragagem e canalização de rios, os sumidouros naturais (áreas úmidas, lagos) são afetados, com reservatórios artificiais armazenando água por mais de um ano e capturando todos sedimentos dos rios, modificando a quantidade e características desse material. Randolph (2004) afirma

que mais da metade dos poluentes que aportam aos cursos d'água são resultantes da lixiviação, com as fontes oriundas da agropecuária afetando mais de 60 % das bacias hidrográficas, seguidas das fontes urbanas comprometendo 50 % das bacias. Conseqüentemente, há áreas das bacias hidrográficas afetadas pelas duas fontes de poluentes.

A partir da integração de dados de uso da terra e qualidade das águas em diversas bacias hidrográficas na Índia, Ramachandra *et al.*, (2015) avaliaram os impactos no regime hidrológico e concluíram que há uma tendência na melhoria da qualidade das águas em bacias hidrográficas com menor grau de urbanização e com maior conservação da vegetação natural. As bacias hidrográficas com predominância de uso agrícola apresentam águas mais ricas em nutrientes. Marsh (1991) ressalta que as taxas de emissão de poluentes estão diretamente associadas ao aumento da densidade de ocupação e o conseqüente aumento da impermeabilização do solo. Assim, para Soranno *et al.*, (2015) o uso da terra nas bacias hidrográficas, com destaque para agricultura e usos urbanos, é reconhecido como um dos maiores indutores do aporte de nutrientes em águas superficiais. O que foi confirmado por Han & Allan (2008) ao longo das 18 bacias hidrográficas tributárias do Lago Michigan (EUA). Os aportes de nitrogênio variaram muito em relação ao uso da terra, sendo muito maiores nas bacias hidrográficas agrícolas do que aquelas com florestas preservadas, com os maiores fluxos estando associados às bacias com usos agrícolas e urbanos. Dessa forma, o incremento das áreas urbanas e agrícolas se apresenta como um fator de aumento das emissões de nutrientes (N e P) e sua disponibilidade para os ecossistemas aquáticos nas bacias hidrográficas tributárias do SEBV. Cabe aqui destacar o afirmado por Vernberg *et al.* (1992), em que a urbanização causa diversos efeitos nas características estuarinas, como o aporte de contaminantes, alterações nos aportes de nutrientes e na concentração de oxigênio dissolvido, além da composição bacteriológica e biomassa de produtores secundários.

Uma maneira de melhor entender essas alterações é fazer a avaliação por bacia hidrográfica. O resultado obtido com as alterações dos compartimentos da paisagem por bacias tributárias do SEBV é apresentado na Tabela 4 e a Figura 4 resume as taxas de alteração por compartimento.

Bacias	Compartimento Natural			
	Área 1987 (km <sup>2</sup> )	Área 2013 (km <sup>2</sup> )	Alteração (km <sup>2</sup> )	%
Rio Santa Maria	971,4	900,3	-71,2	-7,3
Marinho-Formate	39,3	51,6	12,3	31,4
Rio Bubu	15,3	24,0	8,7	56,6
Mestre Álvaro - Contorno	18,1	28,4	10,3	57,0
São Pedro-Santo Antônio	2,2	6,2	4,0	186,3
Rio Itangua	1,3	4,0	2,7	207,7
Rio Aribiri	0,7	2,7	2,0	275,9
Canal da Passagem Sul	0,4	2,4	2,0	503,8
Canal da Passagem Norte	0,7	5,1	4,5	671,8
Praia da Costa e Canal	0,2	2,1	1,9	1.132,0

Bacias	Compartimento Seminatural			
	Área 1987 (km <sup>2</sup> )	Área 2013 (km <sup>2</sup> )	Alteração (km <sup>2</sup> )	%
Rio Santa Maria	564,6	618,9	54,2	9,6
Mestre Álvaro - Contorno	45,6	31,6	-14,0	-30,7
Marinho-Formate	67,3	42,0	-25,4	-37,7
Rio Bubu	30,9	17,7	-13,2	-42,7
Canal da Passagem Norte	7,8	3,7	-4,1	-53,1
Canal da Passagem Sul	2,1	0,9	-1,2	-58,2
Rio Itangua	6,7	2,5	-4,2	-62,2
São Pedro-Santo Antônio	3,7	1,0	-2,6	-72,0
Praia da Costa e Canal	2,4	0,2	-2,2	-89,9
Rio Aribiri	3,2	0,2	-3,1	-94,7

Bacias	Compartimento Urbano-Industrial			
	Área 1987 (km <sup>2</sup> )	Área 2013 (km <sup>2</sup> )	Alteração (km <sup>2</sup> )	%
Rio Aribiri	2,8	7,5	4,6	161,6
Praia da Costa e Canal	26,6	38,0	11,4	42,7
São Pedro-Santo Antônio	9,6	11,2	1,6	16,4
Rio Itangua	10,1	11,0	0,9	9,3
Canal da Passagem Sul	12,1	12,3	0,3	2,1
Canal da Passagem Norte	14,6	14,8	0,2	1,4
Rio Bubu	15,5	14,9	-0,6	-4,0
Marinho-Formate	11,8	10,7	-1,1	-9,0
Mestre Álvaro - Contorno	7,4	6,5	-0,9	-12,3
Rio Santa Maria	9,7	8,3	-1,3	-13,9

Tabela 4: Alterações nos compartimentos da paisagem, 1987–2013, para as bacias hidrográficas tributárias do SEBV. As bacias foram ordenadas em função da porcentagem de incremento ou redução das áreas originais em cada compartimento da paisagem.

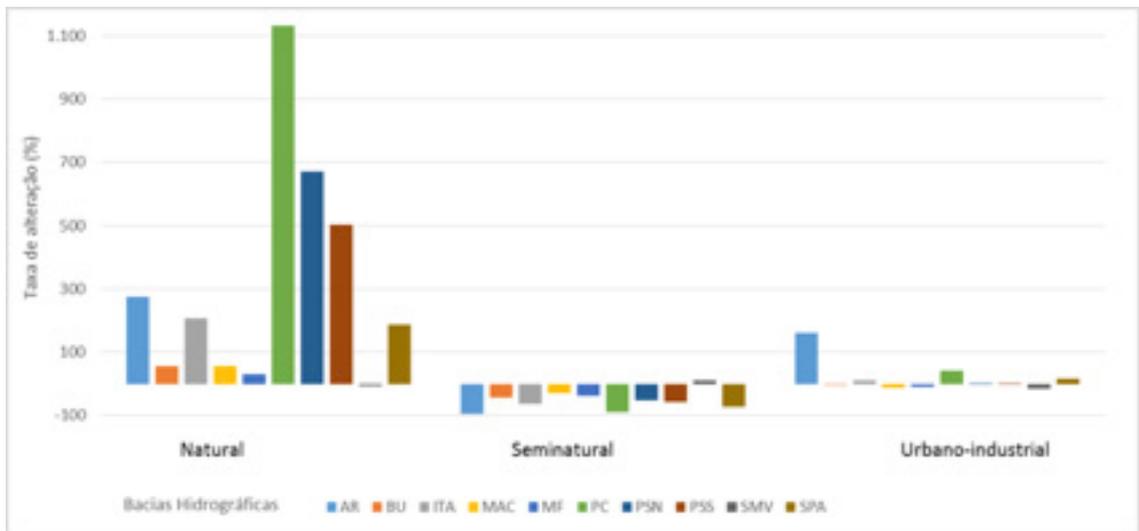


Figura 4: Taxas de alteração (%) nos compartimentos das paisagens no período de 1987-2013 nas bacias tributárias do SEBV.

PSN: Canal da Passagem Norte; PSS: Canal da Passagem Sul; MF: Rio Marinho-Formate; MAC: Mestre Álvaro e Contorno; AR: Rio Aribiri; BU: Rio Bubu; ITA: Rio Itanguá; SMV: Rio Santa Maria da Vitória; SPA: São Pedro – Santo Antônio; PC: Praia da Costa e Canal.

Constata-se aumento das áreas naturais em todas as bacias, com exceção da bacia SMV, com uma diminuição de 7,0 %, o equivalente a 71 km<sup>2</sup>. Apesar do aumento porcentual observado nas demais bacias, por se tratarem de áreas de pequenas dimensões, no conjunto das bacias tributárias do SEBV há uma diminuição das áreas de florestas. Deve ser ressaltado o afirmado anteriormente, de que esse aumento das áreas naturais pode ser resultado de erros na classificação automática. Lu *et al.*, (2016) ressaltam a dificuldade na classificação de uso e cobertura da terra, quando da impossibilidade de validação em campo, recomendando a análise com imagens de alta resolução espacial, que possibilitam mapeamentos mais precisos. Entretanto, os autores destacam a validade dos resultados obtidos com sensores como o LANDSAT e MODIS. Essa dificuldade fica evidente quando os resultados do presente estudo são comparados com o trabalho de Sartorio & Coelho (2015) ao mapear a evolução do uso da terra na bacia do rio Marinho (ES). Utilizando fotografias aéreas em 1:15.000, foi registrado aumento nas áreas urbanas da bacia, com redução de 50,0 % na cobertura florestal, no período de 1978 a 2008.

Em geral houve redução na área do compartimento seminatural. A exceção é a bacia SMV, que apresentou aumento de 54 km<sup>2</sup>, equivalente a 10,0 % da área anteriormente existente. Isso é explicado pela consolidação e expansão da atividade agropecuária nos municípios de Santa Leopoldina e Santa Maria de Jetibá. Para as demais bacias, por suas características principalmente urbanas, a redução é resultante da expansão da ocupação urbana por sobre as áreas anteriormente ocupadas com pastagem ou sem agricultura consolidada.

A expansão do compartimento urbano-industrial é destaque na bacia AR, com aumento de 161,0 %. Entretanto, o maior aumento nominal se deu na PC, com incremento de 11 km<sup>2</sup>. A expansão urbana na PC é reflexo da incremento e concentração

imobiliária observada no período estudado. Cabe aqui destacar o afirmado por Vernberg *et al.* (2012), em que a urbanização causa diversos efeitos nas características estuarinas, como o aporte de contaminantes, alterações nos aportes de nutrientes e na concentração de oxigênio dissolvido, além da composição bacteriológica e biomassa de produtores secundários. Para Li *et al.*, (2012) a urbanização leva ao aumento do aporte de nitrato.

## 4 | CONCLUSÕES

Com uma população estimada em 1.159.350 habitantes em 2010, as bacias hidrográficas tributárias do SEBV comportam mais de 72,0 % da população dos sete municípios abrangidos. A população da região, que na década de 1970 era de 400.000 habitantes, aumentou cerca de 400,0 % no período de 40 anos. Essa expansão se refletiu na alteração da paisagem com retração das áreas naturais (i.e, florestas) e também das seminaturais (i. e., agricultura e pecuária), com um aumento considerável das áreas urbano-industriais no período de 1980-2010. Esse processo se deve ao aumento populacional e de atividades produtivas na Grande Vitória, assim como das atividades agropecuárias, notadamente no município de Santa Maria de Jetibá. A pressão de transformação da paisagem foi prioritariamente direcionada para áreas já alteradas, porém com impactos também na cobertura florestal existente, causando a sua retração, além de potencializar o aumento das emissões de nutrientes e comprometimento da qualidade das águas no sistema estuarino.

## AGRADECIMENTOS

Ao Projeto de Pesquisa ‘Ecohidrologia e gestão integrada de recursos hídricos do contínuo flúvio-estuarino do rio Santa Maria da Vitória (ES)’ FINEP CT-Hidro 2010.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS – AGERH (2015a). **Elaboração de Projeto Executivo para Enquadramento dos Corpos de Água em Classes e Plano de Bacia para os Rios Santa Maria da Vitória e Jucu**. Relatório Técnico. Consórcio NIP S.A. – PROFILL.

ARASTOO, B.; GHAZARYAN, S. (2013). Land cover changes detection in Semnan province by remote sensing techniques. **International Journal of Agronomy and Plant Production**, 4(7):1637-1644.

Brites, R. S; BIAS, E. S; ROSA, A. N. C. S. (2012). Classificações por regiões. In: **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. (Org.) Brasília: UnB, 2012. Disponível em: <http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8> Acesso em 03 abril de 2015.

CHEN, L.; MICHISHITA, R., XU, B. (2014). Abrupt spatiotemporal land and water changes and their potential drivers in Poyang Lake, 2000–2012. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote**

**Sensing**, 98:85-93.

CREPALDI, M. O. S. (2015). Conectando florestas e primatas. As mudanças no uso da terra para a conservação do Muriqui-do-norte (*Brachyteles hypoxanthus* Kuhl, 1820) em propriedades rurais. **Tese de Doutorado**. Programa de Pós-graduação em Ciência Ambiental, USP.

CROSSLAND, C. J., BAIRD, D., DUCROTOY, J. P. AND LINDEBOOM, H. J. (2005). The coastal zone: a domain of global interactions. In: CROSSLAND, C. J., KREMER, H. H., LINDEBOOM, H. J., MARSHALL, J. I., MARSHALL-CROSSLAND, J. J. AND TISSIER, M. D. A. **Coastal fluxes in the Anthropocene**. Berlin, Springer: 1-37

FERRIER, R.C.; JENKINS, A.; BLACKSTOCK, K. (2010). The future for catchment management. In: Ferrier, R. C. and Jenkins, A. (eds.). **Handbook of catchment management**. Blackwell Publishing Ltd, Malaysia, 556 p

HAN, H.; ALLAN, D. (2008). Estimation of nitrogen inputs to catchments: comparison of methods and consequences for riverine export prediction. **Biogeochemistry**, 91:177–199. DOI 10.1007/s10533-008-9279-3.

IBGE (2015). **Mudanças na Cobertura e Uso da Terra: 2000 – 2010 – 2012**. Rio de Janeiro, IBGE.

IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. (2008). **Ortofotomosaico IEMA 2007/2008**. Escala 1:15.000, resolução espacial de 1m, blocos de imagens de 10x10km.

IJSN (2015). **Dados socioeconômicos do Espírito Santo**. Coordenação de Estudos Econômicos. Disponível em <http://www.ijsn.es.gov.br/>. Acesso em 05 de jan. de 2015.

LEÃO, C.; KRUG, L. A.; KAMPEL, M.; FONSECA, L. M. G. (2007). Avaliação de métodos de classificação em imagens TM/Landsat e CCD/CBERS para o mapeamento do uso e cobertura da terra na região costeira do extremo sul da Bahia. **Anais: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007**, Florianópolis. São José dos Campos, INPE, p. 939-946

LI, Y. L.; LIUB, K.; LIB, L.; XU, Z. X. (2012). Relationship of land use/cover on water quality in the Liao River basin, China. **Procedia Environmental Sciences**, 13:1484-1493. doi:10.1016/j.proenv.2012.01.140

LORENA, R.B.; BERGAMASCHI, R.B.; JABOR, P.M.; TEUBNER JUNIOR, F.J. (2013). Mapeamento e análise do uso e cobertura da terra do estado do Espírito Santo – 2010, a partir de imagens de sensoriamento remoto. **Anais. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

LU, M.; PEBESMA, E.; SANCHES, A.; VERBESSELT, J. (2016). Spatio-temporal change detection from multidimensional arrays: Detecting deforestation from MODIS time series. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 117:227–236.

MARSH, W. M. (1991). **Landscape Planning: Environmental applications**. 2<sup>nd</sup> ed. John Wiley & Sons, Inc. USA.

MEYBECK, M.; VÖRÖSMARTY, C. (2005). Fluvial filtering of land-to-ocean fluxes: from natural Holocene variations to Anthropocene. **Comptes Rendus Geoscience**, 337:107–123

MEYBECK, M.; DÜRR, H.H. (2009). Cascading filters of river material from headwaters to regional seas: The european example. In: URBAN, E.R.; SUNDBY, B.; MALANOTTE-RIZZOLI, P.; MELILLO, J.M. **Watershed, bays and bounded seas**. SCOPE; 70, Washington, D.C., p. 115-139

MISSIO, E.; TONIAL, T.M.; SANTOS, J.E.; HENKE-OLIVEIRA, C.; ZANG, N; PIRES, J. S. R. (2004). Análise ambiental e dinâmica do uso da terra de unidades da paisagem para o manejo de bacias hidrográficas. In: SANTOS, J.E.; CAVALHEIRO, F.; PIRES, J.S.R; HENKE-OLIVEIRA, C.; PIRES, A.M.Z.C.R. **Faces da polissemia da paisagem – Ecologia, planejamento e percepção**. São Carlos: RiMa, 408 p.

ODUM, E. P. & ODUM, H. T (1972). **Natural areas as necessary components of man's total environment.** Thirthy-Seventh North American Wildlife and Natural Resources Conference

OLIVEIRA, B. S.; MATAVELI, G. A. V. (2013). Avaliação do desempenho dos classificadores Ioseg e Bhattacharya para o mapeamento de áreas de cana-de-açúcar no município de Barretos-SP. In: **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE

RAMACHANDRA, T.V; SUBASH-CHANDRAN, M.D.; JOSHI, N.V.; KARTHICK, B.; MUKRI, V. D. (2015). Ecohydrology of lotic systems in Uttara Kannada, Central Western Ghats, India. In: RAMKUMAR, MU.; KUMARASWAMY, K.; MOHANRAJ, R. **Environmental Management of river basin ecosystems.** Springer International Publishing, Switzerland

RANDOLPLH, J. (2004). **Environmental land use planning and management.** Island Press, Washignton, DC.

ROCHA, H. C.; MORANDI, A. M. (2012). **Cafeicultura e grande indústria: a transição no Espírito Santo 1955-1985.** 2ª Ed. Vitória, Espírito Santo em Ação

RODRIGUES, R; FORESTI, C. (2004). Dinâmica do uso da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão Claro. In: SANTOS, J.E.; CAVALHEIRO, F.; PIRES, J.S.R; HENKE-OLIVEIRA, C.; PIRES, A.M.Z.C.R. **Faces da polissemia da paisagem – Ecologia, planejamento e percepção.** São Carlos: RiMa, 408 p.

SALOMONS, W., KREMER, H. H. AND TURNER, K. (2005). The catchment to coast continuum. In: Crossland, C. J., Kremer, H. H., Lindeboom, H. J. *et al.* (eds.) **Coastal fluxes in the Anthropocene.** Berlin, Springer: p. 145-200.

SARTORIO, M.V.O.; COELHO, A.L.N.; (2015). Análise do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Marinho – ES. *Revista Equador*, 4(3). **Edição Especial XVI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada.** Teresina- Piauí.

SORANNO, P.A.; CHERUVELIL, K.S.; WAGNER, T.; WEBSTER, K.E.; BREMIGAN, M.T. (2015). Effects of land use on lake nutrients: The importance of scale, hydrologic connectivity, and region. **PLoS ONE**, 10(8): e0135454. doi:10.1371/journal.pone.0135454

TEUBNER JUNIOR, F.J. (2016). Aportes de água e nutrientes para o Sistema Estuarino da Baía de Vitória (ES): Subsídios para a gestão ambiental integrada. **Tese de Doutorado.** Programa de Pós-graduação em Oceanografia Ambiental, UFES.

TRESINARI, E. M. (2012). **Produto Interno Bruto (PIB) dos Municípios do Espírito Santo – 2010.** Instituto Jones dos Santos Neves Vitória, ES, 20f.: il. (Artigo, 1523)

VIANNA, C.C.E. (2009). Conflitos de usos na Baía de Vitória: diagnóstico da gestão ambiental portuária e costeira. **Monografia**, Curso de Graduação em Oceanografia, UFES

VERNBERG, F.J., VERNBERG, W.B.; BLOOD, E.; FORTNER, A.; FULTON, M.; MCKELLAR, H.; MICHENER, W.; SCOTT, G.; SIEWICK, T.; FIGL., K.E. (1992). Impact of urbanization on high-salinity estuaries in the southeastern United States. **Netherlands Journal of Sea Research**, 30:239-248.

WAGNER, I. & ZALEWSKI, M. (2009). Ecohydrology as a basis for the sustainable city strategic planning: focus on Lodz, Poland. **Proccedings of the 4<sup>th</sup> SWITCH Scientific Meeting.** Delft, Netherlands.

## ÊXODO RURAL E ESTADO DA VEGETAÇÃO NATIVA: DESENVOLVIMENTO DE UM INDICADOR SOCIOECONÔMICO E VALIDAÇÃO COM IMAGENS DE SATÉLITE NO MUNICÍPIO DE CANGUÇU - RS, BRASIL<sup>1</sup>

### **Jefferson Rodrigues dos Santos**

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Curso de Geoprocessamento - Rio Grande-RS

### **Júlia Borges Telmo**

Universidade Federal do Rio Grande - Curso de Engenharia Civil - Rio Grande - RS

### **Lucas Munhoz Caseiro**

Universidade Federal do Paraná - Curso de Engenharia Cartográfica e Agrimensura - Curitiba - PR

### **Jean Marcel de Almeida Espinosa**

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Curso de Geoprocessamento - Rio Grande-RS

### **João Augusto de Carvalho Ferreira**

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Curso de Geoprocessamento - Rio Grande-RS

**RESUMO:** Este capítulo analisa o desenvolvimento e a aplicação de um índice socioeconômico capaz de apontar áreas com maior potencial de ocorrência de regeneração de vegetação nativa. Utilizou-se como dados de entrada a variação da população rural e população idosa rural, variação de área plantada de culturas temporárias e permanentes, além

da variação dos rebanhos efetivos, além de indicador de produção de celulose, que objetivou identificar uma reconversão da área para atividade florestal. O índice foi aplicado em todos os municípios do estado do Rio Grande do Sul. Para realizar a validação da metodologia, selecionamos o município de Canguçu-RS, o qual obteve o segundo maior valor do índice. Utilizando imagens Landsat dos anos 2000 a 2010 foram obtidos como resultados a confirmação de que o município foi alterado em sua cobertura vegetal, com aumento de áreas de mata e regeneração de mata nativa.

**ABSTRACT:** This paper analyzes the application of a socioeconomic index able to point out areas with the greatest potential for occurrence of regeneration of vegetation. Rural population variation and elderly rural population were used, planted area variation data of temporary and permanent crops, as well as variation of the effective herds, as well as an indicator of production pulpwood, which aimed to identify a reconversion of the area for forestry activity. The index was applied to all municipalities in the state of Rio Grande do Sul. To perform the validation of the methodology, we selected the municipality of Canguçu, with the second

<sup>1</sup> O presente texto resulta de uma sequência de trabalhos que vem sendo conduzidos com participação de professores, técnicos e estudantes do curso de Geoprocessamento do IFRS - Campus Rio Grande. A primeira versão deste texto foi apresentada no XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, realizado na cidade de Santos, em 2017.

highest index value. We selected the years 2000 to 2010 images. After recognition site and withdrawal of samples for training were obtained as a result of the confirmation that the municipality has been altered in land cover with increase of native forest class and regeneration areas.

**PALAVRAS-CHAVE:** rural exodus; regeneration of vegetation; identifier index, image classification.

## 1 | INTRODUÇÃO

O espaço rural brasileiro tem passado por profundas transformações nos últimos 50 anos. Dentre essas, merece destaque o êxodo rural, que tornou o país majoritariamente urbano na segunda metade do século XX. Ainda no escopo demográfico, a população rural remanescente tem passado por um processo de envelhecimento, com expressiva ampliação da população com idades superiores a 60 anos.

Partindo da premissa de que a expansão da agricultura foi responsável pela supressão das áreas de vegetação nativa em grande parte do centro-sul do país (DEAN, 1997), a pergunta que motivou o presente trabalho foi: ocorre alguma resposta da vegetação nativa à dinâmica de redução de população, nos locais onde há também a retração das atividades produtivas?

Trata-se de uma questão pertinente ao futuro das regiões rurais e seu planejamento, mas o levantamento da realidade de cada município representaria um trabalho exaustivo. Para responder essa questão, foi desenvolvido um índice capaz de apontar áreas com maior potencial de ocorrência de tal regeneração da vegetação. O índice utiliza indicadores que buscam capturar as dinâmicas demográfica e produtiva, possibilitando identificar áreas prioritárias para estudos sobre regeneração da vegetação nativa.

Após a aplicação da metodologia, realizada no estado do Rio Grande do Sul, realizou-se a classificação de imagens com vistas à identificação das diferentes classes de cobertura do solo, com a posterior análise de detecção de mudanças. Os resultados indicam o potencial positivo do indicador, já que o município de Canguçu, no sul do estado, apresentou uma variação significativa de retração da área agrícola e o crescimento da área classificada como em estágio de sucessão para o período 2000-2010.

## 2 | DESENVOLVIMENTO DO ÍNDICE, APLICAÇÃO E VALIDAÇÃO

### 2.1 O índice socioeconômico

A premissa básica do índice corresponde à ideia de que a redução da presença humana no território, através dos processos de êxodo rural e a retração das atividades

produtivas geradas pelo envelhecimento da mesma resultariam na redução da ação transformadora do homem no meio, permitindo um processo de regeneração da vegetação nativa em seus diferentes estágios.

Para capturar esse processo socioeconômico foram selecionados cinco indicadores para a construção do índice, sendo dois de natureza demográfica e três de natureza produtiva, com variáveis ligadas à produção agrícola, pecuária e silvicultura, cujos dados foram obtidos a partir de diferentes pesquisas do IBGE. O critério de seleção das fontes de dados foi baseado nas seguintes características:

- a. escala municipal, dentre níveis territoriais disponibilizados pelo IBGE
- b. disponibilidade dos dados para todo o território nacional, e
- c. intervalo de dados que possibilite a integração temporal com o Censo Demográfico.

Esses critérios buscaram possibilitar a aplicação da metodologia em escala nacional. Os indicadores demográficos foram:

- A. a variação de população rural, o qual tinha por objetivo identificar a situação de êxodo.
- B. O segundo indicador demográfico utilizado foi a variação de população rural idosa (coortes com 60 anos ou mais), considerando que, nas regiões rurais caracterizadas pela presença de agricultura familiar, o avanço da idade da população e o conseqüente ingresso no sistema de seguridade social representa, em médio prazo, a redução da atividade laboral (SANTOS, 2006). Os dados de ambos indicadores foram retirados dos resultados do Censo Demográfico do IBGE.

Dentre os indicadores produtivos, os seguintes:

- A. variação de área de lavouras temporárias e permanentes, obtido da pesquisa Produção Agrícola Municipal.
- B. variação do efetivo dos rebanhos da pecuária, a partir da pesquisa Produção Pecuária Municipal.

Na década de 2000 houve expressiva elevação da área cultivada com espécies de árvores exóticas destinadas à indústria madeireira e de celulose e papel. Tais cultivos ocorreram tanto na forma de investimentos diretos das empresas, com formação de braços florestais das empresas do setor, com arrendamentos e compras de terras, quanto através de contratos de parceria com produtores rurais de pequeno e médio porte. Esta realidade implica que nem todo município com retração de população a atividades agrícolas é potencial espaço para processos de sucessão vegetal, já que tais áreas podem passar por processo de reconversão produtiva para a silvicultura.

Com o objetivo de capturar essa realidade, o terceiro indicador produtivo utilizado foi a variação de produção de madeira em tora para celulose, obtida da pesquisa de Produção e Extração da Silvicultura. O dado ideal seria a área cultivada com espécies como eucalipto e pinus, informação que até o momento da pesquisa não era disponível em base de dados que atendessem os critérios supracitados.

Foram utilizados dados dos anos 2000 e 2010 os quais permitissem tanto a integração dos intervalos temporais entre os dados produtivos e aqueles derivados do Censo Demográfico, quanto a coincidência com dados de sensores orbitais para a posterior validação dos resultados do indicador. Os dados constituintes dos indicadores foram normalizados e receberam sinal positivo ou negativo, a depender de sua contribuição para a possibilidade de ocorrência de sucessão vegetal.

## 2.2 Sucessão Secundária e Regeneração Vegetal

Em termos simples, a sucessão de vegetação é o fenômeno pelo qual uma floresta primária (mata virgem) retorna ao seu estado original de floresta madura após uma perturbação.

Sucessão secundária é a substituição de vegetação que ocorre após um distúrbio qualquer afetando a vegetação preexistente. Há solo já desenvolvido e legado biológico da vegetação prévia (PILLAR, 1994).

O CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente – no artigo 2º da sua resolução nº 33 de 7 de dezembro de 1994, definiu:

Como vegetação secundária ou em regeneração, considera-se aquelas formações herbáceas, arbustivas ou arbóreas decorrentes de processos naturais de sucessão, após supressão total ou parcial da vegetação original por ações antrópicas ou causas naturais. (BRASIL, 1994);

Pillar (1994) destaca um ponto importante ao falar que exemplos de regeneração ocorrem em terras de cultivo abandonadas, queimadas, derrubadas, após aplicação de fertilizantes, etc. O processo também pode ser iniciado pela remoção de algum fator de distúrbio como fogo, pastoreio, e enchentes. Esta definição foi incorporada ao estudo, pois menciona a sucessão de vegetação em solo já desenvolvido e legado biológico prévio além de terras de cultivo abandonado, condizente com a situação da área estudada.

É comum encontrar áreas de pousio de campos agrícolas. Pousios são áreas destinadas à produção agrícola que se encontram sem semeadura, ou seja, em repouso. Com isso, o avanço natural de algumas espécies vegetais devolve ao solo esgotado pós-colheita as suas propriedades nutritivas. Por essa razão, a utilização de focos de sucessão primária para detectar a regressão da mata nativa foi desconsiderada. Além dos fragmentos serem pequenos e muito espaçados, é possível observar focos de sucessão primária em campos de pousio que posteriormente serão reutilizados para

práticas agrícolas.

Apesar da resolução publicada pelo Conama se tratar da mata atlântica no estado do Rio Grande do Sul, apresenta algumas colocações pertinentes sobre o estágio médio do desenvolvimento arbóreo, como:

- a) vegetação que apresenta fisionomia de porte arbustivo/arbóreo cuja formação florestal apresenta altura de até 08 (oito) metros [...]
- b) cobertura arbórea variando de aberta a fechada com ocorrência eventual de indivíduos emergentes; [...]
- f) diversidade biológica significativa; (BRASIL, 1994)

Estudos de Siminski (2009) sobre a Mata Atlântica de Santa Catarina nos fornecem uma breve classificação em quatro etapas sobre o processo sucessional:

Foram amostradas 160 áreas onde os diferentes estágios da sucessão fossem identificáveis, através das características fitofisionômicas e de informações dos proprietários. Foram caracterizados quatro estágios sucessionais com base na fitofisionomia da vegetação, conforme proposto por Siminski (2004): 1) estágio Arbustivo; 2) estágio de Arvoretas; 3) estágio Arbóreo Pioneiro e; 4) estágio Arbóreo Avançado. (SIMINSKI, 2009, pg. 38)

Siminski (2004) no estágio arbustivo – também chamado de capoeirinha – verifica-se o aparecimento dos primeiros arbustos, surgindo após cinco ou mais anos de abandono e perdurando até dez. É nesse estágio que a interação da vegetação com a fauna se intensifica. A definição trazida pelo APREMAVI – Associação de Preservação do Meio Ambiente e da Vida – é pertinente ao trabalho, pois condiz com as condições vistas em campo.

A capoeirinha surge logo após o abandono de uma área agrícola ou de uma pastagem. Esse estágio geralmente vai até seis anos podendo em alguns casos durar até dez anos em função do grau de degradação do solo ou da escassez de sementes. A altura média das árvores em geral não passa dos 4 metros e o diâmetro de 8 centímetros (APREMAVI, s.d);

## 2.3 Classificação e detecção de mudanças

Ao final do processo de construção do índice, aplicado em todo estado do Rio Grande do Sul, foram aplicadas as técnicas de classificação e detecção de mudanças (CASTRO e STELLE, 2011) no município selecionado para o estudo. Foram utilizadas imagens do sensor LandSat-5, dos anos de 2000 e 2010. O conjunto de procedimentos realizados nas imagens está encadeado na Figura 1.

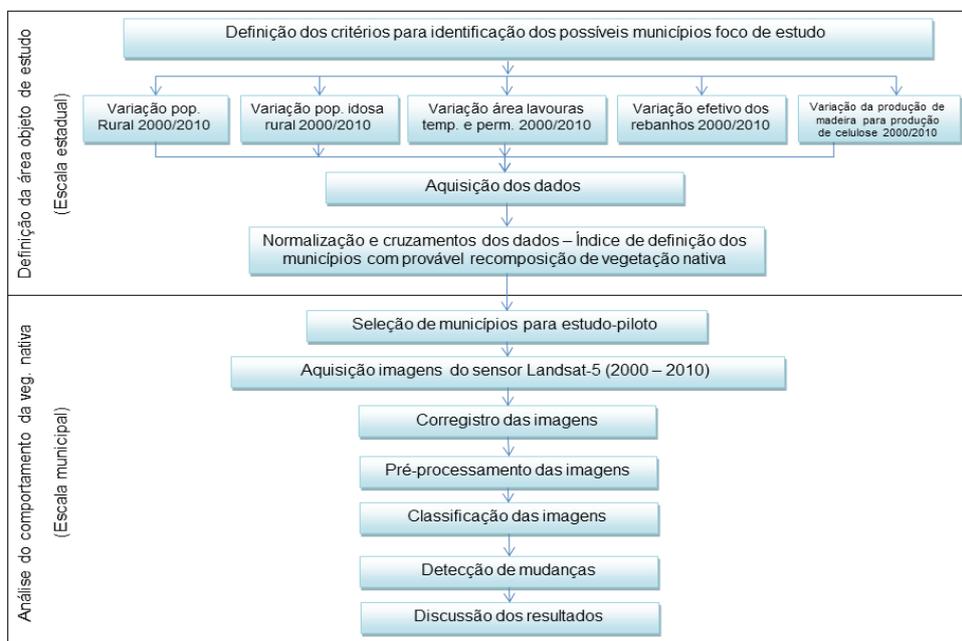


Figura 1: Fluxograma das atividades a serem desenvolvidas ao longo do projeto.

Fonte: Elaborado pelos autores.

### 3 | RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO INDICADOR

Após a aplicação do índice, obteve-se como resultado um ranking de municípios com maior potencial de ocorrência de sucessão. A figura 2 indica os dez maiores resultados para o estado do Rio Grande do Sul.

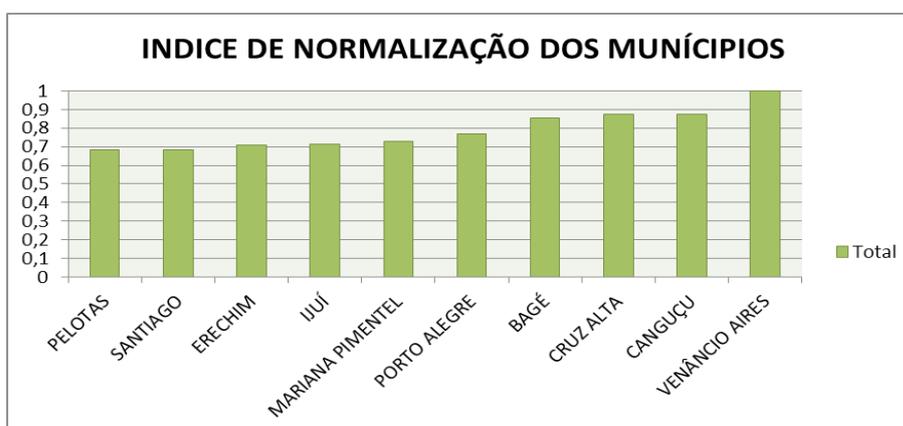


Figura 2: Indicador de possível ocorrência de sucessão.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Por uma questão de viabilidade das atividades de campo foi selecionado o município de Canguçu, o qual se localiza no sul do estado do Rio Grande do Sul, nas proximidades do campus Rio Grande do IFRS. Foi realizado levantamento de campo para a obtenção de áreas de treinamento.

## LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

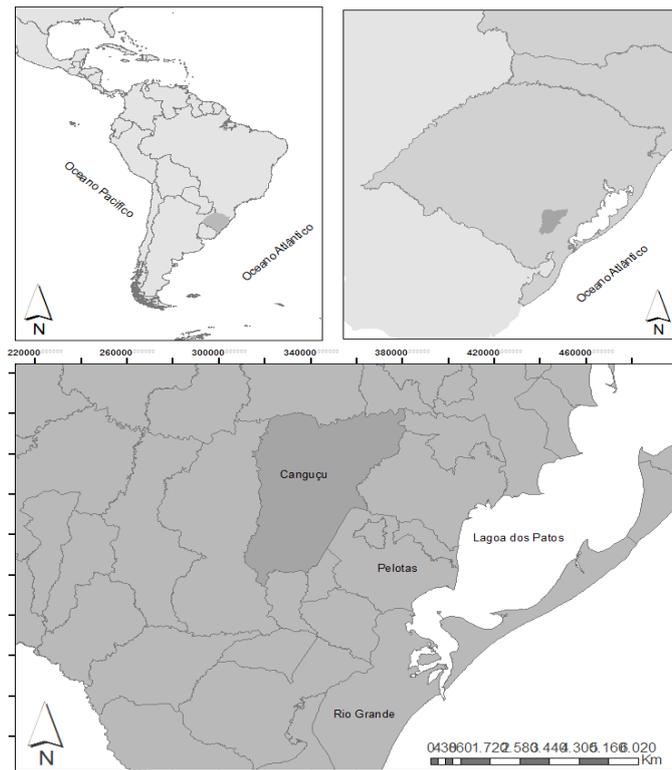


Figura 3: Localização da área de estudos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Cabe destacar que ao chegar ao município foi possível constatar junto ao escritório local da EMATER (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural), que embora o município apresente grande contingente de propriedades familiares, verifica-se a ocorrência de abandono de lotes, sendo a inexistência de linha sucessória uma das razões. Foram realizados levantamentos das diferentes classes de cobertura do solo (mata nativa, silvicultura, área agrícola, área de pouso, pastagem e áreas caracterizadas como de sucessão), num total de 52 amostras coletadas. A figura 3 exemplifica uma área de uso agrícola.



Figura 3: Exemplo de área dedicada à agricultura, com cultivar em desenvolvimento e solo parcialmente exposto. Canguçu – RS.

Fonte: SANTOS, J.R. Saída de campo. 2015.

A classe representativa de estágio de regeneração foi identificada tomando o desenvolvimento arbustivo como critério visual (Figura 4).



Figura 4: Exemplo de área em processo de sucessão secundária. Canguçu – RS.

Fonte: FERREIRA, J.A. Saída de Campo. 2015.

Após a seleção de áreas de treinamento, foram realizados os procedimentos de pré-processamento e processamento das imagens LandSat 5. Os resultados da detecção de mudanças podem ser observados nas figuras 5 e 6.

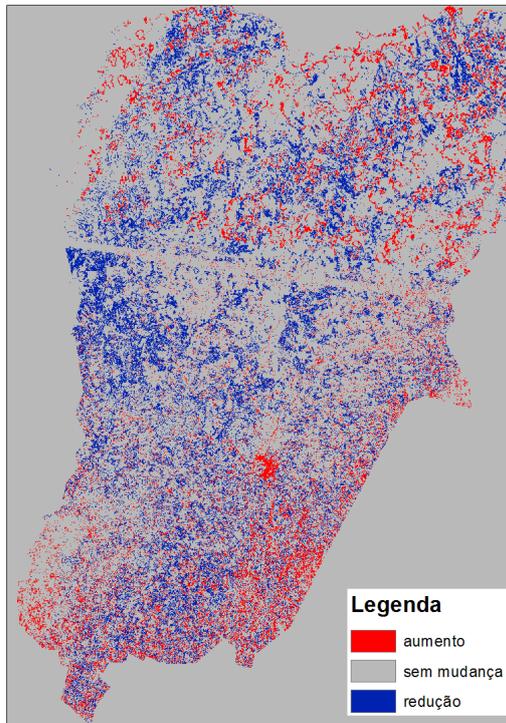


Figura 5: Mapa de detecção de mudança na classe Sucessão Secundária do Município de Canguçu (2000/2010)

Fonte: Elaborado pelos autores.

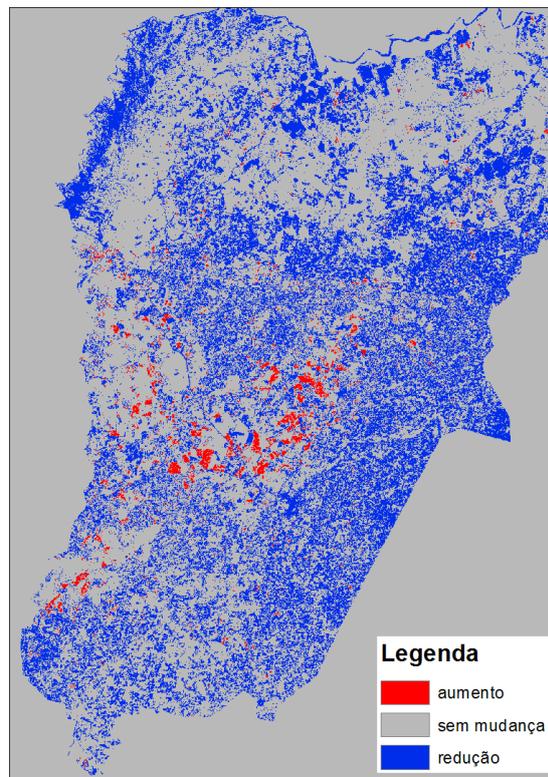


Figura 6: Mapa de detecção de mudança na classe agricultura do Município de Canguçu (2000/2010)

Fonte: Elaborado pelos autores

Os dados do IBGE indicam uma redução de área de lavouras temporárias da

ordem de dez mil hectares para o período 2000-2010. Entre as lavouras permanentes e pecuária bovina houve relativa manutenção da área e efetivo de rebanhos.

#### 4 | CONCLUSÕES

A utilização do indicador aqui proposto apresenta resultados promissores como um procedimento para a seleção de possíveis áreas de ocorrência de sucessão vegetal, dada a confirmação de redução de ocupação produtiva identificada em pesquisa de campo. Como desafios metodológicos, pode-se destacar a definição dos estágios de sucessão e as espécies típicas do processo para cada tipo de formação vegetal. Diferentes técnicas de classificação de imagens também podem ser testadas, buscando melhores resultados. Pretende-se realizar novos procedimentos de classificação e detecção de mudanças no município, com intuito de elevar o número de amostras e sua distribuição espacial, bem como observar os efeitos da sazonalidade das imagens selecionadas para o estudo.

#### REFERÊNCIAS

ANDRADE, Andrea Faria; FARIA, Mosar Botelho; CENTENO, Jorge Antonio Silva. Classificação de Imagens de Alta Resolução Integrando Variáveis Espectrais e Forma Utilizando Redes Neurais Artificial. In: **XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 2003, Belo Horizonte. Anais do XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 2003.

APREMAVI - Associação de Preservação do Meio Ambiente e da Vida. **A floresta primária e as florestas secundária**. Disponível em: <<http://www.apremavi.org.br/cartilha-planejando/a-floresta-primaria-e-as-florestas-secundarias/>>. Acesso em: 22 de julho de 2016;

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente; **Resolução nº 33, de 7 de dezembro de 1994**. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res94/res3394.html>> Acesso em 23 de dezembro de 2016;

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **CENSOS DEMOGRÁFICOS**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>> Acesso em 09 abril 2015

CASTRO FILHO, C. A. P e STELLE, C. A. Método Multiescala de Detecção de Mudanças Aplicado a Dados de Sensoriamento Remoto. In: **Anais do XI Workshop de Computação Aplicada**. São José dos Campos, 2011. pp. 1- 4.

DEAN, Warren. **A ferro e fogo**: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira. São Paulo: Companhia das Letras, 1997. 484 p.

JENSEN, John R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**: Uma Perspectiva em Recursos terrestres. São José dos Campos, SP: Parêntese, 200

PILLAR, V. D. 1994. **Dinâmica temporal da vegetação**. Porto Alegre - RS: UFRGS, Departamento de Botânica. Disponível em <<http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br>>. Acesso em: 11 de julho de 2016;

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Yosio Edemir. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2010.

SANTOS, Jefferson Rodrigues dos. **Previdência rural e suas interações com a realidade local: Impactos territoriais em São José do Norte**. Dissertação de mestrado. Porto Alegre, 2006

SIMINSKI, Alexandre. **A floresta do futuro: conhecimento, valorização e perspectivas de uso das formações florestais secundárias no estado de Santa Catarina**. Florianópolis - SC: UFSC, 2009;

SIMINSKI, Alexandre. **Formações florestais secundárias como recurso para o desenvolvimento rural e a conservação ambiental no litoral de Santa Catarina**. Florianópolis - SC: UFSC, 2004;

## FRAGILIDADE AMBIENTAL DE UMA MICROBACIA, VISANDO O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

### Sérgio Campos

Depto. Engenharia Rural, FCA, UNESP, Botucatu  
– SP, Fone: (14) 38807535, seca@fca.unesp.br

### Marcelo Campos

FCE, UNESP, Tupã – SP, Fone: (14) 34044266,  
marcelcampos@tupa.unesp.br

### Thyellenn Lopes de Souza

Depto. Engenharia Rural, FCA, UNESP, Botucatu  
– SP, Fone: (14) 38807535, seca@fca.unesp.br

### Mateus Campos Leme

Depto. Engenharia Rural, FCA, UNESP, Botucatu  
– SP, Fone: (14) 38807535, seca@fca.unesp.br

### Mikael Timóteo Rodrigues

UNESP, Registro – SP, Fone: (14) 34044266,  
mikael@registroa.unesp.br

**RESUMO:** Sistemas de informação geográfica (SIG), juntamente com a técnica de análise multi-critério, permite a padronização e integração de dados, que normalmente comer de várias fontes, permitindo uma avaliação conjunta da mesma, proporcionando mais eficiência e confiabilidade no processo de tomada de decisão para promover a adequação do uso do solo. O presente estudo destinado a analisar a fragilidade ambiental no Ribeirão das Agulhas - Botucatu (SP). O uso de um Sistema de Informação Geográfica para a elaboração de mapas de fragilidade: classes de pedologia, declividade, geologia e uso e ocupação do solo.

Os fatores foram integrados e interpolados, onde todos receberam as mesmas variáveis de peso na análise e a sobreposição de destes mapas geraram informações da fragilidade ambiental da microbacia. Os resultados mostraram que a classe de fragilidade ambiental média merece maior atenção, uma vez maior atenção, pois representa quase 35% da área, mostrando que mal planejada e se não forem tomadas precauções, essas áreas tendem a ser mais facilmente degradadas.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Microbacia. Geoprocessamento. Sistema de Informação Geográfica. Multicritério.

**ABSTRACT:** Geographic information systems (GIS), along with the multi-criteria analysis technique, allows the standardization and integration of data, which normally eat from several sources, allowing a joint evaluation of the same, providing more efficiency and reliability in the process of making Decision to promote the adequacy of land use. The present study aimed at analyzing the environmental fragility in Stream of Agulhas - Botucatu (SP). The use of a Geographic Information System for the elaboration of maps of fragility: classes of pedology, declivity, geology and land use and occupation. The factors were integrated and interpolated, where all received the same weight variables in the analysis and the overlap

of these maps generated information on the environmental fragility of the microbasin. The results showed that the average environmental fragility class deserves greater attention, once more attention is given, since it represents almost 35% of the area, showing that poorly planned and if no precautions are taken, these areas tend to be more easily degraded.

**KEYWORDS:** Microbasin. Geoprocessing, Geographic Information System. Multicriteria.

## 1 | INTRODUÇÃO

A crescente demanda dos recursos naturais e a rápida diminuição global, faz-se necessário estudos e planejamentos que maximizem a manutenção desses recursos.

Assim, surgiu a agricultura de precisão, que utilizam os mapas criados a partir de dados do sensoriamento remoto e de SIG's, havendo a necessidade de atualização constante dos registros de uso da terra, para que as tendências sejam analisadas e utilizadas de forma mais técnica, adequada e racional possível, permitindo que se possa estruturar e viabilizar um planejamento e a implementação de uma política agrícola adequada como necessidade de se ter informações confiáveis e atualizadas referentes ao uso e ocupação da terra atual.

A utilização de técnicas de geoprocessamento analisar ambientalmente de forma a entender como essas alterações se comportam no espaço, sendo um dos pontos mais fortes como estudo do ambiente local (PIRES et al., 2012).

Esse trabalho teve como objetivo identificar e avaliar a fragilidade ambiental da microbacia do Ribeirão das Agulhas - Botucatu (SP), conforme proposta de Ross (1994), a fim de ter um planejamento de uso futuro menos impactante.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na microbacia do Ribeirão das Agulhas - Botucatu (SP), por ser uma área muito importante e representativa do município onde a paisagem sofreu uma nítida transformação, situada entre as coordenadas geográficas: 22° 47' 05" a 22° 51' 55" de latitude S e 48° 28' 10" a 48° 30' 04" de longitude W Gr., abrangendo uma área de 1357,29ha.

Para a análise da imagem de satélite de 2015 utilizou-se o software IDRISI Selva juntamente com as imagens de satélite digital, bandas 3,4 e 5 do Sensor TM do LANDSAT 5, da órbita 220, ponto 56, quadrante A e passagem de 2015.

Os solos ocorrentes na área foram: Neossolo Litólico eutrófico (RLe), Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (PVAd), Latossolo Vermelho - Amarelo distrófico (LVAd) e Gleissolo Háplico Tb (GXbd), segundo Piroli 20002.

Os pontos de controles para o georreferenciamento e de máxima altitude para digitalização do limite da microbacia tiveram como base cartográfica a Carta Planialtimétrica de Botucatu, editada pelo IBGE (1969), em escala 1:50000, com distância vertical entre curvas de 20 m. A conversão dos dados vetoriais em imagem raster e o seu processamento foi realizada com auxílio do SIG - Idrisi Selva, bem como a determinação do mapa de declividade da microbacia.

O contorno da área da microbacia foi realizado manualmente na Carta Planialtimétrica (IBGE, 1969), segundo os pontos mais elevados de altitude que delimitam a área, tendo-se como base a definição de Rocha (1991).

A partir do mapa de solos de Botucatu foi feita a scannerização da área referente à microbacia, sendo importado para o software Idrisi Selva pelo módulo *File/Import* num formato passível de entrada, sendo posteriormente georreferenciado.

As diferentes classes de solo foram digitalizadas e, posteriormente, foram indicados os nomes de cada área, associados aos seus respectivos identificadores. As áreas e as porcentagens de cada classe de solo foram determinadas através do comando *Area* do menu *Database Query* pertencente ao módulo *Analysis*.

As classes de declive foram obtidas através da digitalização e identificação das curvas conforme os valores de suas altitudes pelo Software Idrisi Selva, para realização da interpolação das curvas de nível, pelo módulo *TIN interpolation*. Em seguida, fez-se o cálculo de declives no módulo *surface* e finalmente usando-se o módulo de reclassificação de valores, *reclass*, os valores interpolados foram agrupados nos intervalos de classes de declividade de 0-0-6, 6-12, 12-20, 20-30 e >30%. O mapa de declividade foi executado a partir do modelo digital de elevação segundo as classes de declive utilizadas para conservação do solo preconizadas pela Soil Survey Staff (1975).

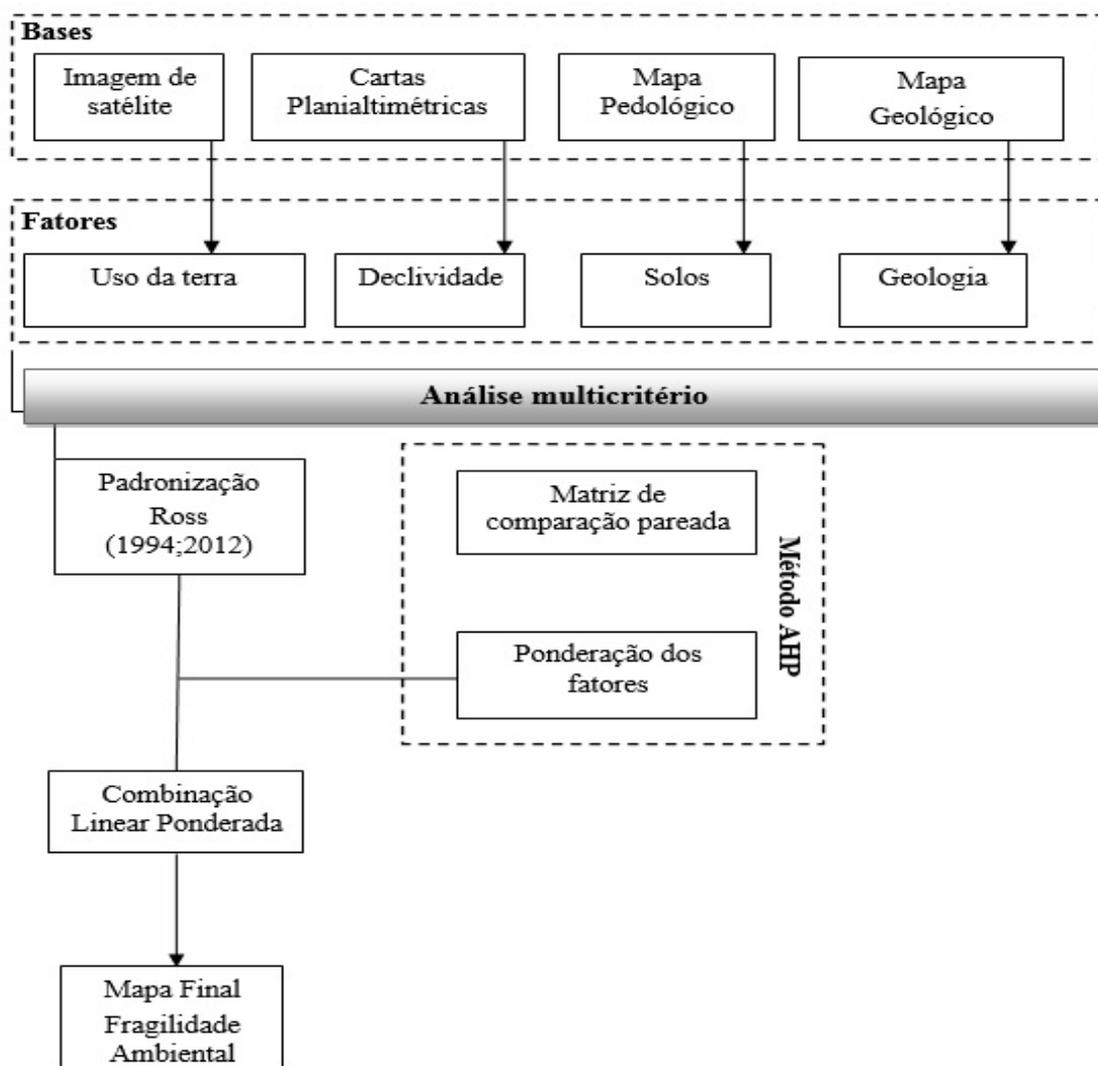
Através do *SIG IDRISI Selva* foi elaborada uma composição colorida com a combinação das bandas 3, 4 e 5, obtida a partir da imagem de satélite digital, bandas 3, 4 e 5 do sensor *Thematic Mapper* do LANDSAT – 5, da órbita 220, ponto 76, quadrante A, passagem de 2015, escala 1:50000, pois esta apresenta uma boa discriminação visual dos alvos, possibilitando a identificação dos padrões de uso da terra de maneira lógica.

Esta composição apresenta os corpos d'água em tons azulados, as florestas e outras formas de vegetações em tons esverdeados e os solos expostos em tons avermelhados. A seguir, foi realizado o georreferenciamento da composição, utilizando-se para isso do módulo *Reformat/Resample* do *SIG – IDRISI Selva*, sendo os pontos de controle obtidos nas cartas planialtimétricas, utilizando o sistema de coordenadas planas, projeção UTM, datum Córrego Alegre, bem como dois arquivos de pontos de controle, sendo o primeiro da imagem digital e o outro das cartas. Foram determinadas as coordenadas de cada ponto e com estes dados foi feito um arquivo de correspondência, através do comando *Edit* do menu *Database Query*, presente no módulo *Analysis*. Após o georreferenciamento, foi feito o corte, extraíndo-se apenas a

área de estudo da microbacia. A classificação supervisionada foi realizada, buscando diferenciar os alvos com radiâncias semelhantes. .

Na elaboração do mapa de uso do solo, as áreas foram determinadas com o auxílio do *software SIG – IDRISI Selva*, utilizando-se do comando *Area* do menu *Database Query*, pertencente ao módulo *Analysis*, sendo posteriormente determinadas as porcentagens de cada classe.

Para a elaboração do mapa de Fragilidade Ambiental (Figura 1) foram agrupados os mapas de pedologia, declividade, geologia e uso e ocupação dos solos, seguindo as recomendações propostas por Ross (1994). A hierarquia das classes de fragilidade e peso indicando nível de risco estabelece as classes: Muito Baixa (1), Baixa (2), Moderada (3), Alta (4) e Muito Alta (5).



**Figura 1** – Fluxograma das etapas utilizadas para análise da fragilidade ambiental na microbacia do Ribeirão das Agulhas – Botucatu (SP).

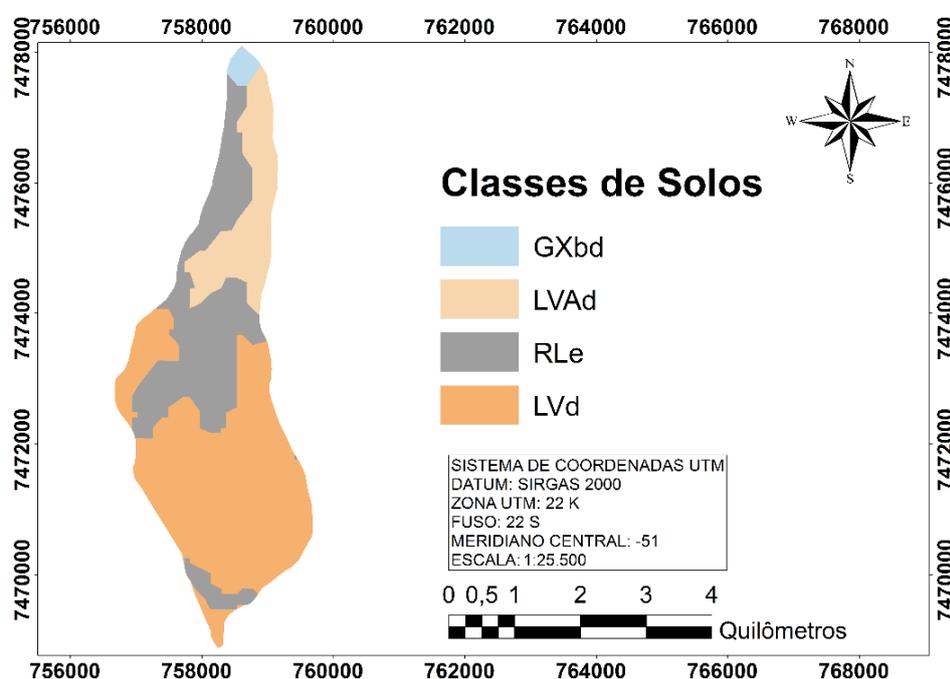
### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fragilidade do ambiente natural e não natural a partir da inter-relação dos elementos da paisagem, como a pedologia, geologia, declividade e uso e ocupação

da terra associada a análise multicritérios permite determinar a fragilidade ambiental segundo classes hierárquicas, pois os fatores físicos são os principais constituintes de uma microbacia e para compreender a dinâmica desta, faz-se necessário compará-los e correlacioná-los obtendo, de forma adaptada, a fragilidade potencial ambiental da referida área de estudo.

Os solos (Figura 2 e Tabela 1) de textura arenosa (Piroli, 2002), RLe e PVAd1 abrangendo 438,62ha (32,32%), são solos que apresentam estruturas frágeis e são susceptíveis a erosão, além de possuírem baixa fertilidade natural, para estes solos a probabilidade de erosão aumenta com a diminuição de sua cobertura vegetal.

O solo hidromórfico, representado pelo GXbd, que está presente em cerca de 709,93ha (52,3%) de área da microbacia, é encontrado em baixadas e no entorno de cursos d'água, geralmente em áreas encharcadas, apresentando baixa fertilidade.



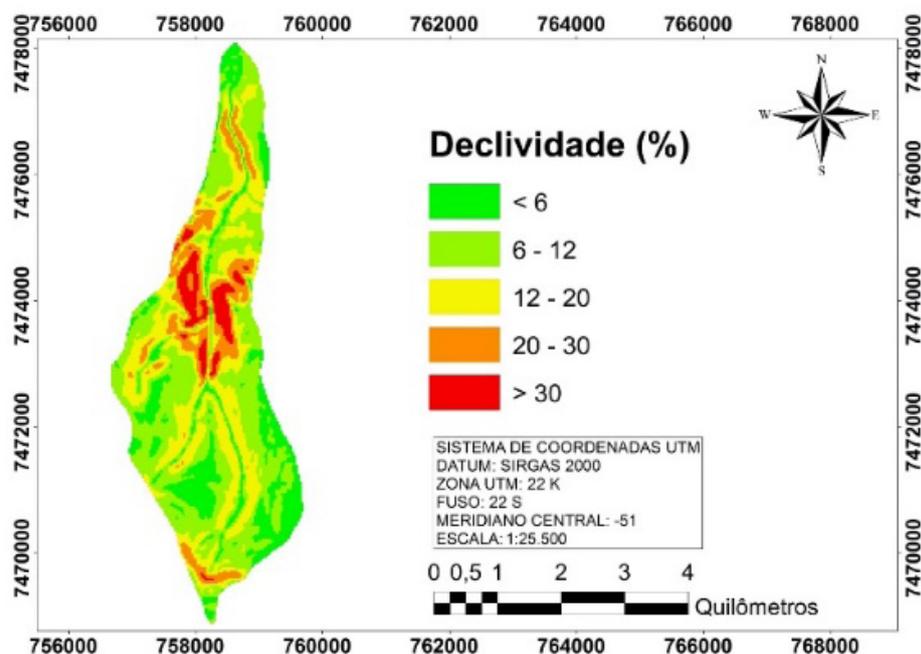
**Figura 2.** Classes de solos e fragilidade ambiental da microbacia do Ribeirão das Agulhas - Botucatu (SP).

Unidades de solo	Sigla	Área		Fragilidade Ambiental	Pesos
		ha	%		
Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico	PVAd	19,48	1,44	Alta	4
Gleissolo Háptico Tb	GXbd	709,93	52,30	Muito Baixa	1
Latossolo Vermelho Amarelo distrófico	LVAd	208,74	15,38	Moderada	3
Neossolo Litólico eutrófico	RLe	419,14	30,88	Muito Alta	5
<b>Total</b>		<b>1357,29</b>	<b>100</b>		

**Tabela 1.** Classes de solos e fragilidade ambiental da microbacia do Ribeirão das Agulhas - Botucatu (SP).

A classe de declive de 0 a 6% (Figura 3 e Tabela 2) com 237,27ha (17,48%)

classificadas como relevo plano e suavemente ondulado por Chiarini e Donzeli (1973) e por Lepsch et al. (2001) como áreas destinadas para o plantio de culturas anuais com o uso de práticas simples de conservação do solo, uma vez que o próprio plantio em nível da cultura já controla o processo erosivo do solo.



**Figura 3.** Classes de declive e fragilidade ambiental da microbacia do Ribeirão das Agulhas - Botucatu (SP).

Classes de Declive (%)	Relevo	Área		Fragilidade Ambiental	Pesos
		ha	%		
<6	Plano e Suavemente Ondulado	237,27	17,48	Muito Baixa	1
6-12	Ondulado	554,38	40,84	Baixa	2
12-20	Forte Ondulado	362,57	26,71	Média	3
20-30	Acidentado	141,95	10,46	Alta	4
>30	Montanhoso	61,12	4,50	Muito Alta	5
<b>Total</b>		<b>1357,29</b>	<b>100</b>		

**Tabela 2.** Classes de declive e fragilidade ambiental da microbacia do Ribeirão das Agulhas - Botucatu (SP).

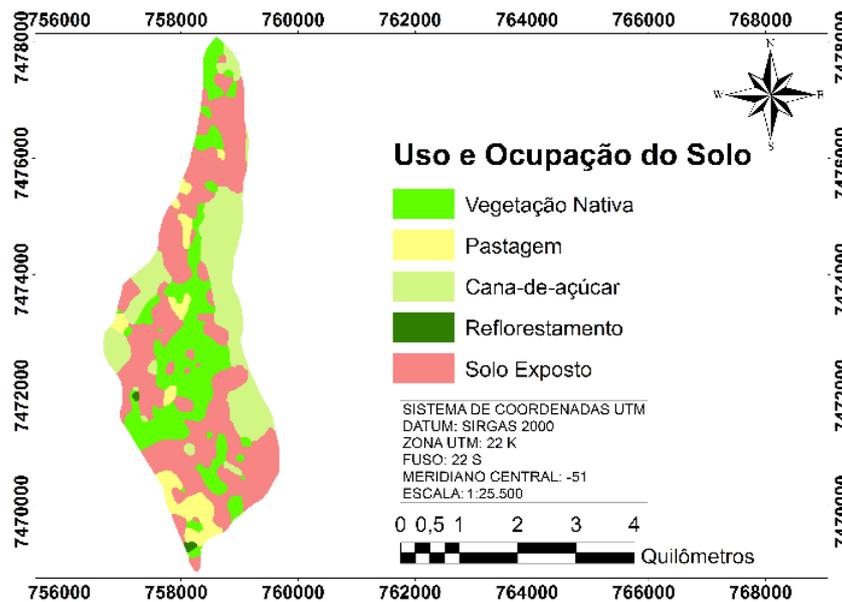
As áreas com declividade de 6 a 12 % com 554,89ha (40,84%), relevo ondulado, foram as mais significativas, são indicadas para o plantio de culturas anuais com o uso de práticas complexas de conservação do solo, de acordo com Lepsch et al. (2001).

O relevo forte ondulado (12 a 20%), indicado para culturas permanentes, as quais exigem uma menor mobilização do solo, propiciando menores riscos de erosão como as culturas de café, cana-de-açúcar, pastagens, etc., conforme Lepsch et al. (2001) predominaram em 26,71% (362,57ha).

Apenas 141,95ha (10,46%) apresentaram relevo acidentado (Chiarini e Donzelli, 1973), ou seja, com declividade de a 20 a 30%, podendo ser utilizado para

o desenvolvimento da pecuária e silvicultura, ou ainda, destinam-se à preservação ambiental, evitando-se dessa maneira a erosão do solo (Lepsch et al., 2001).

O uso e ocupação do solo na microbacia (Figura 4 e Tabela 3) está associado principalmente com pastagem que vem abrangendo 712,92ha (52,53%). Essa classe de uso do solo por pastagem são mal utilizadas pelo produtor rural para produção de bovino de corte. Estas requerem um cuidado especial no manejo do solo, visando minimizar os impactos positivos e maximizar os positivos referentes às classe de ocupação do solo. Assim, as práticas conservacionistas são de fundamental importância na contenção dos processos erosivos de degradação da qualidade da terra (ROSS, 1994).



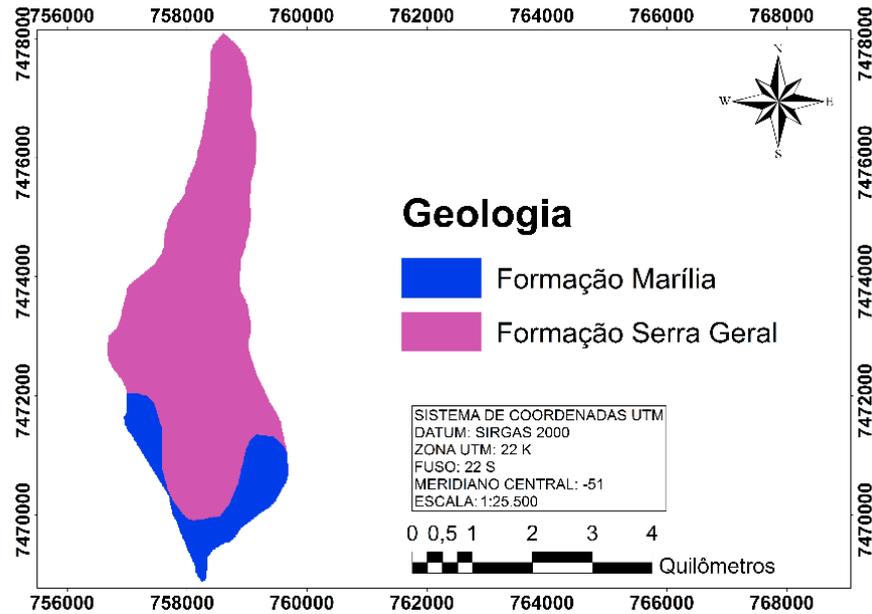
**Figura 4.** Uso e ocupação do solo e fragilidade ambiental da microbacia do Ribeirão das Agulhas - Botucatu (SP).

Usos	Área		Fragilidade Ambiental	Pesos
	ha	%		
Vegetação Nativa	344,16	25,36	Muito Baixa	1
Reflorestamento	4,65	0,34	Baixa	2
Pastagem	94,98	7,00	Muito Alta	5
Cana-de-açúcar	295,56	21,78	Alta	4
Solo Exposto	617,94	45,53	Muito alta	5
<b>Total</b>	<b>1357,29</b>	<b>100</b>		

**Tabela 3.** Uso e ocupação do solo e fragilidade ambiental da microbacia do Ribeirão das Agulhas - Botucatu (SP).

A microbacia é composta geologicamente por rochas de Depósitos Aluvionários e Terciários e Formação Pirambóia (Figura 5 e Tabela 4), sendo que os Depósitos Terciários abrangem mais de 80% da área, enquanto que a Formação Pirambóia

situada nas partes mais baixas com 304,82 ha (16,04%), segundo Crepani et al., (2001) é constituída principalmente por arenitos.



**Figura 5.** Geologia e fragilidade ambiental da microbacia do Ribeirão das Agulhas - Botucatu (SP).

<b>Classes de Geologia</b>	<b>Area (ha)</b>	<b>Area (%)</b>	<b>Fragilidade ambiental</b>	<b>Pesos</b>
Formação Serra Geral	219,81	16,19	Alta	4
Formação Marília	1137,48	83,81	Muito Baixa	1
<b>Total</b>	<b>1357,29</b>	<b>100</b>		

**Tabela 4.** Geologia e fragilidade ambiental da microbacia do Ribeirão das Agulhas - Botucatu (SP).

A fragilidade ambiental da microbacia (Figura 6 e Tabela 5) classificada como moderada vem predominando numa área de 474,65ha (34,97%), pois grande parte desta é composta por relevo forte ondulado, por Latossolo Vermelho Amarelo distrófico que possui fragilidade média devido as suas características físicas; além do uso do solo por pastagem que possui fragilidade moderada.

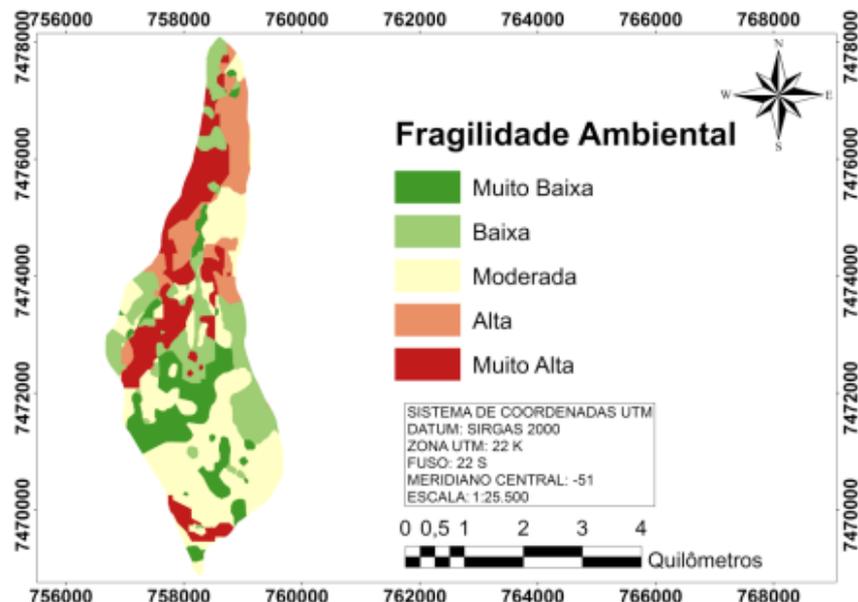


Figura 6. Fragilidade ambiental da microbacia do Ribeirão das Agulhas - Botucatu (SP).

Classes de fragilidade	Área (ha)	Área (%)	Pesos
Muito Baixa	200,18	14,75	1
Baixa	267,86	19,73	2
Média	474,65	34,97	3
Alta	168,26	12,40	4
Muito Alta	246,34	18,15	5
<b>Total</b>	<b>1357,29</b>	<b>100</b>	

Tabela 5. Fragilidade ambiental da microbacia do Ribeirão das Agulhas - Botucatu (SP).

#### 4 | CONCLUSÃO

A microbacia do Ribeirão das Agulhas – Botucatu (SP) apresentou fragilidade ambiental moderada, pois por ser uma classe que classe composta principalmente de relevo forte ondulado, de Latossolo, por pastagem e geologicamente por rochas de Formação Marília, portanto merece uma maior atenção, pois representa quase 35% da área, mostrando que mal planejada e se não forem tomadas precauções, essas áreas tendem a ser mais facilmente degradadas.

#### REFERÊNCIAS

CHIARINI, J.J., DONZELLI, P.L. Levantamento por fotointerpretação das classes de capacidade de

uso das terras do Estado de São Paulo. **Bol.Tec.Inst.Agron.**, Campinas, n.3, p.1-29, 1973.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Carta topográfica**: folha de Botucatu (SF-22-R-IV-8) Serviço gráfico do IBGE, 1969. Escala 1:50.000.

PIRES, E. V. R.; SILVA, R. A.; IZIPPATO, F. J; MIRANDOLA, P. H. Geoprocessamento Aplicado a Análise do Uso e Ocupação da Terra para Fins de Planejamento Ambiental na Bacia do Córrego Prata – Três Lagoas (MS). **Revista Geonorte**, v.2, n.4, p.1528–1538, 2012.

PIROLI, E.. Geoprocessamento na determinação da capacidade e avaliação do uso da terra do município de Botucatu, Sp. Botucatu, 2002. 108 p. Tese (Doutorado em Agronomia/ Energia na Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

LEPSCH, J.F. et al. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. Campinas, **Soc.Bras.Cien.do Solo**, 2001.175p.

ROCHA, J.S. M. da. 1991. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas**. ed. UFSM, Santa Maria, RS. 181p.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 63-74, 1994. SOIL SURVEY STAFF. **Soil Taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil survey**. USDA, Washington, D.C., 1975. 930p.

## IMAGEM DE REFLECTÂNCIA DE SUPERFÍCIE USGS COMO REFERÊNCIA PARA COMPARAÇÃO DE DIFERENTES MÉTODOS DE CORREÇÃO ATMOSFÉRICA

### **Patricia Michele Pereira Trindade**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
– UFRGS, Programa de Pós-Graduação em  
Sensoriamento Remoto  
Porto Alegre, RS

### **Dejanina Luderitz Saldanha**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
– UFRGS, Programa de Pós-Graduação em  
Sensoriamento Remoto  
Porto Alegre, RS.

### **Waterloo Pereira Filho**

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM,  
Programa de Pós-Graduação em Geografia  
Santa Maria – RS.

**RESUMO:** Os sensores dos satélites de sensoriamento remoto registram imagens que, de alguma forma, possuem interferência atmosférica. Assim, foram desenvolvidos métodos de correção atmosférica e alguns produtos em reflectância de superfície já foram disponibilizados, como por exemplo, as imagens da plataforma Landsat 8. Neste contexto, o objetivo do presente trabalho é comparar dois métodos de correção considerando como referência os valores obtidos na imagem de reflectância de superfície disponibilizada pela USGS e verificar qual a influência nos valores do índice radiométrico para áreas construídas. A metodologia seguiu algumas etapas, como:

aquisição de três imagens Landsat 8 (reflectância de superfície (SR), reflectância aparente (TOA), e em números digitais (ND)); conversão dos ND para valores físicos e correções atmosféricas pelo método DOS e FLAASH; cálculo do índice radiométrico NDBI; coleta de assinaturas espectrais para alvos de área construída, vegetação, água e solo exposto; comparação entre as imagens de reflectância e a imagem referência; e comparação entre os valores NDBI para classe área construída. Desta forma, foi possível constatar que diferentes métodos de correção podem gerar diferentes valores de reflectância de superfície e NDBI para os mesmos alvos. Assim, surge a dúvida sobre qual método seria o mais correto. Neste estudo, a imagem corrigida pelo FLAASH apresentou valores de reflectância e NDBI mais próximos aos da imagem referência. Estudos que utilizam imagens Landsat 8 contam com imagens já corrigidas, o que facilita o trabalho e garante maior confiabilidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** DOS, FLAASH, área urbana, índice radiométrico, curvas espectrais.

**ABSTRACT:** Satellites' remote sensors register images that, in some way, carry atmospheric interference. Thus, methods of atmospheric correction were developed and products of surface reflectance were made available, such as, for example, the images of the Landsat 8

platform. Regarding this context, the objective of our study is to compare two methods of correction, while considering as reference the values obtained in the images of surface reflectance provided by the USGS, and to verify what is their influence on the values of radiometric indices for constructed surfaces. Our methodology followed some steps, such as: the acquisition of three Landsat 8 images (surface reflectance [SR], top of atmosphere reflectance [TOA] and digital numbers [DN]); conversion of the DN into physical values and atmospheric corrections through DOS and FLAASH methods; calculation of the radiometric index NDBI; collection of spectral signatures for targets of constructed surfaces, vegetation, water and bare soil; comparison between the reflectance images and the reference image; and comparison between the NDBI values for the constructed surface's class. As result, it was possible to determine that different correction methods can generate different values of surface reflectance and of NDBI for the same targets. Thus, it remains undetermined which method is better suited. In our study, the image corrected with FLAASH presented values of reflectance and of NDBI that were closer to those of the reference image. Studies that use Landsat 8 image rely on images corrected in advance, which facilitates work and guarantees more reliability.

**KEYWORDS:** DOS, FLAASH, urban area, radiometric index, spectral curves.

## 1 | INTRODUÇÃO

Uma das principais informações obtidas a partir dos produtos de sensoriamento remoto orbital é a caracterização das propriedades físicas dos diversos alvos existentes na superfície terrestre. No entanto, é de comum acordo entre a comunidade científica que, os dados registrados pelos sensores sofrem interferência de um meio dinâmico que fica entre o sensor e a superfície imageada, a atmosfera. Uma das principais interferências é a diminuição do contraste entre as superfícies adjacentes e alteração do brilho em cada ponto da imagem (Zullo Junior, 1996). Liou (1980) e Latorre *et al.* (2002) são exemplos de trabalhos que avaliaram a interferência atmosférica nos valores espectrais de diferentes alvos na superfície terrestre.

A importância da correção atmosférica pode ser identificada em três casos: quando o usuário deseja conhecer a reflectância ou emitância do objeto em estudo; quando o usuário necessita utilizar algoritmos que se baseiem em operações aritméticas entre as bandas; quando o usuário deseja comparar propriedades dos objetos em imagens de diferentes datas (NOVO, 2008).

Diversos métodos de correção atmosférica foram desenvolvidos para serem aplicados nas imagens e mitigar os efeitos atmosféricos sobre a REM captada pelos sensores, a exemplo, o método DOS (*Dark Object Subtraction*) e o algoritmo Flaash (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis Spectral Hypercubes*). O primeiro, segundo Chávez (1988) utiliza dados somente da imagem e considera os valores de espalhamento atmosférico. Já o segundo método, de acordo com Aldler-Golden

(1999) e Matthew *et al.* (2002) fundamenta-se no código de transferência radiativa MODTRAN para estimar os parâmetros na correção das imagens. Alguns trabalhos já foram desenvolvidos em relação aos diferentes métodos de correção atmosférica, como por exemplo, Couto Junior *et al.* (2011) que avaliaram o desempenho do algoritmo FLAASH (baseado no código MONTRAN) com imagem Landsat 7 EMT para o bioma do Cerrado. Fragal e Montanher (2011) compararam as correções atmosféricas 6s e DOS para a caracterização espectral de alvos naturais utilizando imagens Landsat 5 sensor TM.

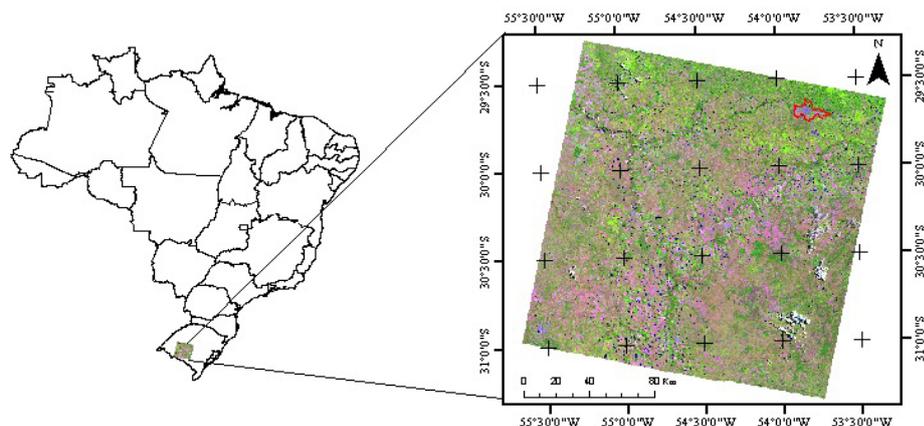
Produtos já convertidos para reflectância de superfície estão disponíveis gratuitamente, como é o caso das imagens Landsat 8 disponibilizadas no site da USGS (*United States Geological Survey*). Os dados de reflectância de superfície Landsat 8 são gerados a partir do algoritmo LaSRC (*Landsat Surface Reflectance Code*), o qual utiliza a banda de aerossóis para realizar testes de inversão de transferência radiativa (USGS, 2016).

A correção atmosférica é considerada importante para estudos baseados nas características espectrais dos alvos, sendo que, sem a correção os índices espectrais podem apresentar valores diferentes (LU *et al.*, 2002). Um exemplo é o índice radiométrico NDBI (*Normalized Difference Built-up Index*) que é utilizado para identificar áreas construídas, considerando como base o grande incremento de resposta espectral das áreas construídas nas bandas do infravermelho próximo e ondas curtas (Zha *et al.*, 2003; Xu, 2007; França *et al.* 2012).

Neste sentido, o objetivo deste trabalho é comparar imagens em reflectância de superfície obtidas por diferentes métodos de correção atmosférica e verificar sua influência no índice radiométrico NDBI. Para tanto, a imagem em reflectância de superfície disponibilizada pela USGS foi utilizada como referência.

## 2 | METODOLOGIA DE TRABALHO

No presente trabalho foram utilizadas três imagens da plataforma Landsat 8, sensor OLI referentes à órbita ponto 223/81 do dia 19/01/2014, foram usadas as bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. A primeira imagem corresponde aos valores de reflectância aparente ou no topo da atmosfera (TOA), a segunda à reflectância de superfície (SR) e a terceira em números digitais (ND). A aquisição das imagens foi realizada no *site* da USGS. A área escolhida para este estudo foi a cidade de Santa Maria -RS devido ao conhecimento prévio da área de modo a facilitar a interpretação dos dados (Figura 1).



**Figura 1** – Localização da área de estudo.

## 2.1. Correção atmosférica com o método DOS e no algoritmo FLAASH

O processamento digital referente à correção atmosférica foi realizado na imagem em números digitais. Para tanto, antes de iniciar as correções com os dois métodos distintos, a imagem foi convertida para valores de radiância (para correção com o FLAASH) e para valores de reflectância aparente (para correção com o DOS). Os parâmetros utilizados na correção são encontrados na página oficial do programa Landsat e estão disponíveis nos metadados das imagens.

O método de correção atmosférica DOS segundo Chávez (1988) utiliza dados da própria imagem, assim, fatores como condições atmosféricas e visibilidade horizontal não são considerados para correção. Este método toma como pressuposto que qualquer cena e qualquer banda espectral existem pixels com o valor 0, tanto imagens em ND quanto em imagens já convertidas para reflectância aparente, são áreas que não poderiam receber radiação incidente (sombras por exemplo). Assim, se esses pixels apresentam valores maior que zero, o valor excedente é explicado pela interferência aditiva do espalhamento atmosférico (PONZONI, 2010). Para realizar a correção segundo este método no presente trabalho foram identificadas em cada banda espectral quais as quantidades de reflectância aparente que deveriam ser subtraídas da imagem como um todo, assim foi considerado que a interferência atmosférica seria uniforme em toda a cena.

A correção atmosférica com o algoritmo FLAASH utiliza o código de transferência radiativa MODTRAN, sendo que a principal vantagem em utilizar esse modelo é que este considera também o fenômeno de absorção da REM o que resulta informações mais confiáveis para trabalhos que envolvam parâmetros geofísicos (PONZONI, 2010). Os parâmetros de entrada para correção foram: imagem convertida para valores de radiância, características da cena, data, latitude e longitude, altitude do sensor, modelo atmosférico (Mid-Latitude Summer), visibilidade horizontal (40 Km), sensor a bordo do satélite (OLI), banda espectral, e modelo de aerossol (neste caso foi considerado o “Rural” pois a correção realizada em toda cena).

Para o desenvolvimento do trabalho foram consideradas quatro imagens: 1ª Reflectância aparente USGS (R\_TOA), 2ª Reflectância de superfície USGS (SR\_USGS), 3ª Reflectância de superfície com o método DOS (SR\_DOS) e 4ª Reflectância de superfície com o método FLAASH (SR\_FLAAASH).

## 2.2. Cálculo do índice radiométrico

Foi realizado o cálculo do índice radiométrico NDBI (Equação 1) para as quatro imagens (R\_TOA, SR\_USGS, SR\_FLAAASH, e SR\_DOS). Neste caso, foram consideradas as bandas 5 e 7 do sensor OLI. Este índice foi considerado pois o recorte espacial para as análises dos dados é a área urbana de Santa Maria, desta forma foi possível espacializar de maneira rápida as áreas construídas dentro da cidade. Zha *et al.* (2003) propuseram o NDBI utilizando as bandas TM4 e TM5 para atrair áreas urbanizadas de Nanjing, China.

$$\text{NDBI} = (\text{pivoc} - \text{pivp}) / (\text{pivoc} + \text{pivp})$$

Onde, pivoc = reflectância no infravermelho de ondas curtas, pivp= reflectância no infravermelho próximo.

## 2.3. Comparação entre as imagens

O resultado das correções atmosféricas DOS e FLAASH foram comparadas com a imagem de reflectância de superfície da mesma cena disponibilizada pela USGS (considerada imagem referência). Foram coletadas 15 assinaturas espectrais de áreas construídas, água, vegetação e solo exposto. Estas amostras foram escolhidas de forma irregular e posteriormente foi gerada uma curva média para cada classe e plotadas em um gráfico para as comparações entre as imagens. Assim, foi realizado o cálculo da diferença entre USGS e FLAAH e USGS e DOS subtraindo os valores das imagens corrigidas da imagem referência.

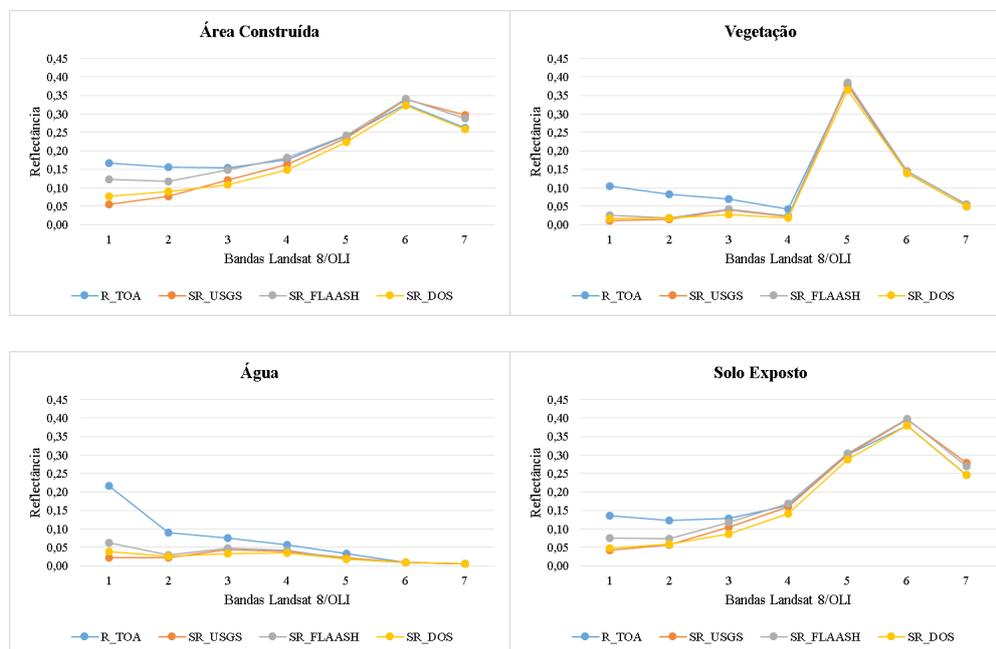
Em relação ao NDBI foram realizadas as comparações dos valores entre as quatro imagens (reflectância parente USGS, reflectância de superfície USGS, reflectância de superfície FLAASH, e reflectância de superfície DOS) a partir das amostras coletadas.

# 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 3.1 Resultados das correções atmosféricas

Observou-se alta correlação entre as curvas espectrais (R\_TOA, SR\_USGS, SR\_FLAAASH e SR\_DOS), onde os valores de reflectância FLAASH apresentam-se um pouco superiores em todas as classes selecionadas em relação às refletâncias USGS e DOS (Figura 2). A classe área construída apresentou maior variação entre as imagens de reflectância de superfície e a classe vegetação a menor variação.

As curvas de reflectância aparente apresentam valores superiores nas bandas do visível para as diferentes classes. Este fato foi explicado por Ponzoni (2010) que nas bandas do visível os valores de reflectância aparente serão sempre superiores aos de reflectância de superfície devido ao espalhamento da REM causado pela interferência atmosférica, principalmente, nos menores comprimentos de onda.



**Figura 2** – Resposta espectral de diferentes alvos a partir das imagens Reflectância aparente (R\_TOA), Reflectância de superfície USGS (SR\_USGS), Reflectância de superfície FLAAASH (SR\_FLAAASH) e Reflectância de superfície DOS (SR\_DOS).

Nas regiões do infravermelho próximo e ondas curtas os valores de reflectância de superfície USGS e FLAAASH apresentam-se superiores aos de reflectância aparente. Conforme Ponzoni (2010) este fato é explicado pela predominância do fenômeno de absorção da REM nessas bandas espectrais. Já os valores de reflectância de superfície DOS foram inferiores ao de reflectância aparente, isso acontece pois esse método considera o fenômeno de espalhamento como dominante em todas as bandas espectrais.

Uma observação interessante que foi constada é que os valores de reflectância aparente são muito próximos aos valores de reflectância de superfície a partir da banda 5, independentemente do método de correção, o que possibilita afirmar que as correções atmosféricas têm maior influência nas bandas do visível.

### 3.2. Comparação entre os diferentes métodos de correção atmosférica

Para caracterização espectral de alvos a partir de imagens orbitais são necessárias as conversões dos ND para valores físicos (radiância e reflectância aparente) bem como correções atmosféricas. Para tanto existem os métodos de correção atmosférica disponíveis, em contrapartida, existe a dúvida de qual o melhor

método de correção. Neste trabalho os valores de reflectância de superfície USGS foram considerados os mais adequados, pois são distribuídas pela USGS, agência científica dos EUA. As imagens Landsat 8 contam com um algoritmo de correção especialmente desenvolvido para elas, sendo que as correções fazem uso da banda de aerossóis, dados climáticos auxiliares do MODIS e os ângulos zênites (USGS, 2016).

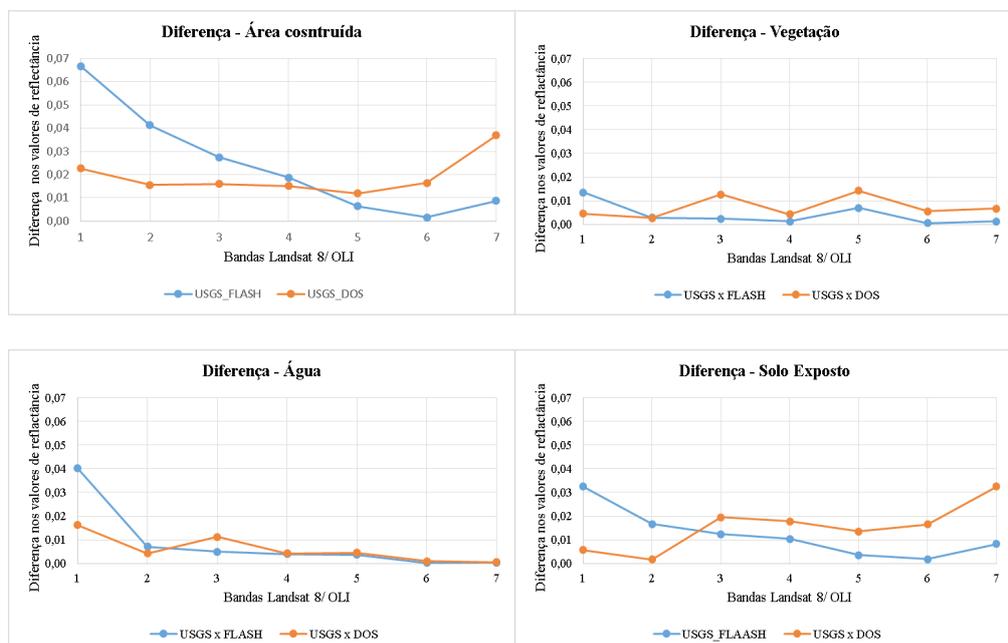
Assim, tendo como referência a imagem de reflectância de superfície USGS como verdadeiros foram realizadas duas subtrações entre os valores de reflectância de superfície USGS e FLAASH e subtração USGS e DOS. Os resultados foram os valores de diferença entre os métodos para as sete bandas consideradas neste trabalho (Figura 3).

Na classe área construída os valores das diferenças entre USGS e FLAASH apresentaram-se maiores do que USGS e DOS nas bandas 1, 2, 3 e 4. Sendo que a partir do infravermelho próximo as diferenças entre USGS e DOS foram maiores.

Para a classe vegetação as maiores diferenças ocorreram entre USGS e DOS, no entanto, na banda 1 a diferença entre DOS e USGS foi menor do que a diferença entre USGS e FLAASH, sendo que na banda 2 as duas comparações apresentaram valores parecidos.

Nas amostras de água a diferença entre USGS e DOS foram menores nas bandas 1 e 2, na banda 3 registou valores maior que USGS e FLASH, e nas demais bandas as diferenças apresentaram-se praticamente iguais.

Pode-se dizer que as assinaturas espectrais do solo exposto e área urbana são parcidas. No entanto, quando foram analisadas as diferenças entre os métodos de correções foi verificado que não foram semelhantes. Na classe solo exposto, as diferenças entre USGS e DOS foram inferiores somente nas bandas 1 e 2 e aumentaram a partir da banda 3. Na classe area construída os valores foram maiores somente para as banadas 5, 6 e 7.



**Figura 3** – Diferenças da reflectância de superfície entre USGS e FLAASH e USGS e DOS.

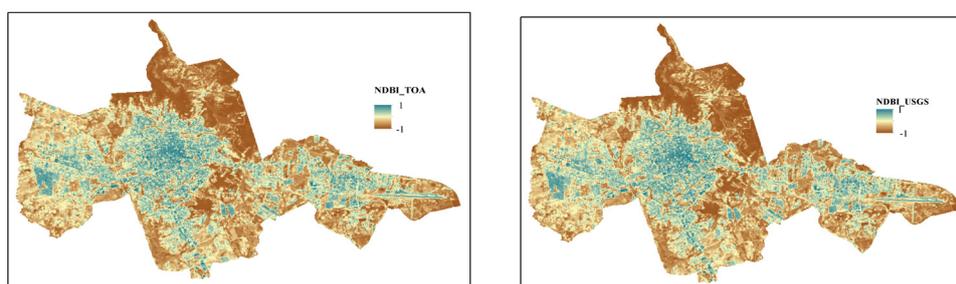
Em uma análise geral foi possível observar que os valores das diferenças entre USGS e FLAASH foram as menores para a maioria das bandas nas classes vegetação, água e solo exposto. Sendo que a diferença entre USGS e DOS só foi menor para a classe área construída e nas bandas 1, 2, 3 e 4. A diferença entre USGS e FLAASH foram menores para esta classe nas bandas do infravermelho próximo e de ondas curtas, o que torna o método FLAASH mais adequado para estudos urbanos, já que geralmente as bandas consideradas para composições coloridas (melhor contraste na área urbana) bem como para a geração do NDBI consideram as bandas do infravermelho próximo e de ondas curtas.

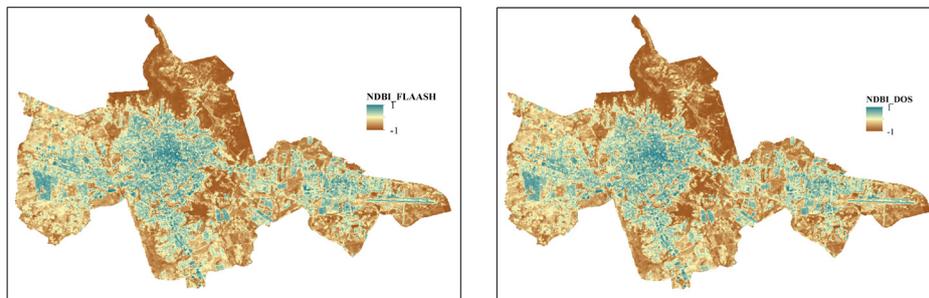
### 3.3. Comparação entre os valores NDBI para classe área construída

A figura 4 apresenta os resultados do NDBI gerado para as quatro imagens abordadas neste estudo. Os valores de NDBI variam de -1 a 1, sendo que os maiores valores indicam a existência de áreas construídas na área considerada. A partir das quatro imagens de NDBI é possível verificar que visualmente não existem diferenças entre elas.

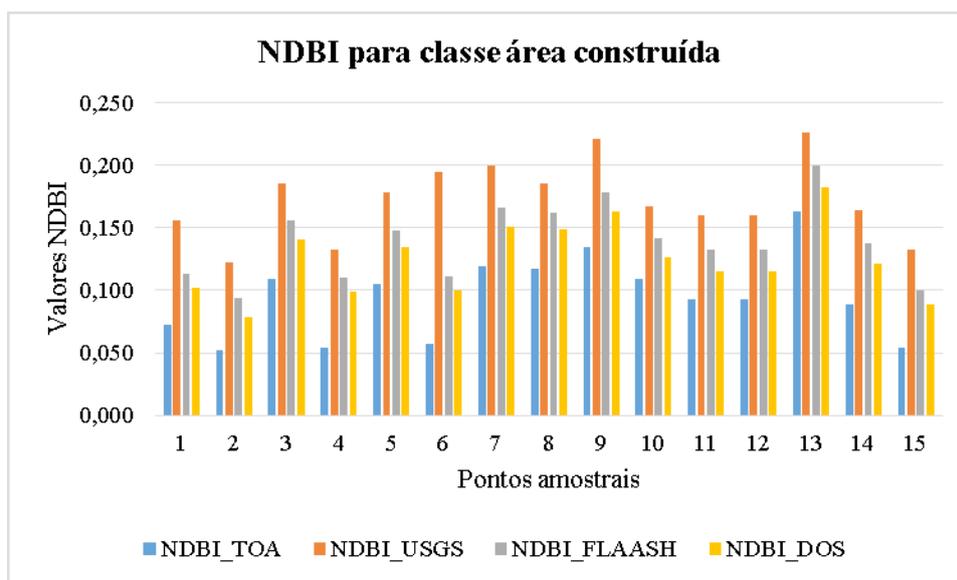
No entanto, ao analisar os 15 valores de NDBI para as amostras de áreas construídas coletadas foi possível verificar diferenças entre os valores de NDBI das imagens corrigidas pelos dois métodos. Os menores valores de NDBI foram identificados na imagem de reflectância aparente para todas as amostras. Já a imagem de Reflectância de superfície USGS apresentou os maiores valores de NDBI para as 15 amostras de área urbanizada. A imagem corrigida com o método DOS apresentou os menores valores entre as imagens de reflectância de superfície (Figura 5).

Tomando a imagem de NDBI USGS como referência foram calculadas as diferenças desta em relação às obtidas com os dois métodos de correção. Assim foi possível verificar que os valores de NDBI da imagem FLAASH apresentaram menor diferença em relação à imagem USGS. Este fato, pode ser explicado porque as diferenças entre as imagens de reflectância de superfície USGS e FLAASH foram menores para as bandas 5, 6, e 7 do que a comparação USGS x DOS. Como as bandas utilizadas para o cálculo do NDBI foram as 5 e 7, conseqüentemente, os valores de NDBI FLAASH são mais próximos dos valores de NDBI USGS.





**Figura 4** – Espacialização das áreas construídas na cidade de Santa Maria a partir do NDBI.



**Figura 5** – Valores de NDBI da classe área construída para as imagens de Reflectância aparente e Reflectância de Superfície.

#### 4 | CONCLUSÕES

A partir do desenvolvimento deste estudo foi possível estimar as diferenças entre as imagens de reflectância de superfície disponibilizadas pela USGS e as imagens corrigidas com os métodos FLAASH e DOS. Neste sentido, as menores diferenças entre os valores de reflectância de superfície foram encontradas entre as imagens USGS e FLAASH para os alvos vegetação, água e solo exposto (bandas 2, 3, 4, 5, 6 e 7), sendo que as diferenças entre as imagens USGS e DOS foram menores para as bandas 1, 2, 3 e 4 na classe área construída e bandas 1 e 2 para os demais alvos.

Estudos que necessitam conhecimento das grandezas físicas dos objetos a partir de imagens Landsat 8 contam com a disponibilidade de imagens já corrigidas em reflectância de superfície o que facilita o trabalho e garante maior confiabilidade, já que dados disponibilizados pela USGS podem ser considerados mais precisos, pois são desenvolvidos algoritmos e parâmetros de correção especialmente para as imagens Landsat 8. No entanto, se houver a necessidade de conversão dos valores ND para valores físicos e posterior correção, recomenda-se a correção pelo algoritmo

FLAASH, pois este apresentou valores mais próximos da imagem referência.

Para estudos urbanos que visam a utilização do índice NDBI também recomenda-se a imagem corrigida pelo FLAASH, pois os valores de reflectância foram mais próximos aos da imagem referência, bem como a diferença entre os valores de NDBI entre a imagem USGS e FLASH foram menores para classe área construída. Assim, é possível afirmar que diferentes métodos de correção podem gerar diferentes valores de reflectância de superfície e NDBI para os mesmos alvos.

De acordo com a literatura, a atmosfera tem influência sobre os valores de radiância registrados nos sensores de sensoriamento remoto e para tentar minimizar essa interferência foram desenvolvidos diferentes métodos de correção. No entanto, surge a questão: será que aplicando tais métodos sobre as imagens realmente obtém-se imagens com o verdadeiro valor físico dos diversos alvos presentes na superfície terrestre? E se a correção for considerada imprescindível, qual o método utilizar? Para a área de estudo do presente trabalho e imagem Landsat8 o método FLAASH foi considerado mais adequado, no entanto, mais estudos devem ser desenvolvidos considerando diferentes áreas e imagens.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq por bolsa a primeira autora e por bolsa de produtividade em pesquisa ao último autor.

## REFERÊNCIAS

ALDLER-GOLDEN, S.M.; MATTHEW, M.W.; BERNSTEIN, L.S.; LEVINE, R.Y.; BERK, A.; RICHTSMEIER, S.C.; ACHARYA, P.K.; ANDERSON, G.P.; FELDE, G.; GARDNER, J.; HIKE, M.; JEONG, L.S.; PUKALL, B.; Mello, J.; RATKOWSKI, A.; BURKE, H. Atmospheric correction for shortwave spectral imagery based on MODTRAN4. *SPIE Proc. Imaging Spectrometry*, v. 3753, p. 61-69, 1999.

CHÁVEZ, J. P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*. New York, v.24, p. 459-479, 1988.

COUTO JUNIOR, A. F.; Meneses, P. R.; Sano, E. E. Desempenho da correção atmosférica baseada no algoritmo FLAASH e sua avaliação para o processamento digital de imagens do sensor Landsat 7-ETM+ dentro do Bioma Cerrado. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2011. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. Artigos, p. 7317-7323. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1610.pdf> > Acesso em 18 de set. 2016.

FRANÇA, A. F. de; TAVARES Junior, A. R.; MOREIRA FILHO, J.C.C. Índices, NDVI, NDWI, NDBI como ferramentas ao mapeamento temático do entorno da lagoa olho D'Água, em Jabotão dos Gauraraões-PE. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2012, Recife. **Anais...** IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2012. Artigos, p.001-009.

FRAGAL, E. H.; MONTANHER, O. C. Correções atmosféricas 6s e DOS na caracterização espectral

de alvos naturais de Ilha Grande utilizando dados do sensor TM 5. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2011. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2011. Artigos, p. 7456-7463. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1022.pdf>> Acesso em 18 de set. 2016.

LATORRE, M.; Carvalho Júnior, O. A.; Carvalho, A. P. F.; Shimabukuro, Y. E. Correção Atmosférica: Conceitos e Fundamentos. **Espaço & Geografia**, v. 5, n. 1, p. 153–178, 2002.

LIU, K.N. **An Introduction to atmospheric radiation**. New York: Academic Press, 1980. 392p.

LU, D.; MAUSEL, P.; BRONDIZIO, E.; MORAN, E. Assessment of atmospheric correction methods for Landsat TM data applicable to Amazon basin LBA research. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 13, p. 2651-2671, 2002.

MATTHEW, M.W.; ADLER-GOLDEN, S.M.; BERK, A. Atmospheric correction of spectral imagery: Evaluation of the FLAASH algorithm with AVIRIS data. In: 31st Applied Imagery Pattern Recognition Workshop, 2002. Disponível em: < <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=1182270> > Acesso em 20 de set. 2016.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 3 ed. São Paulo: Blucher, 2008. 363p.

Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Ed. A. Silva Vieira. 2007. 1280p.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY – USGS. **Provisional Landsat 8 Surface Reflectance Code (LaSRC) Product**. Versão 3.3. Disponível em: <[http://landsat.usgs.gov/documents/provisional\\_lasrc\\_product\\_guide.pdf](http://landsat.usgs.gov/documents/provisional_lasrc_product_guide.pdf)> Acesso em outubro de 2016.

XU, H. Extraction of urban built-up Land features form Landsat imagery a thematic-oriented index combination technique. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v. 73, n. 12, p. 1381-1391, 2007.

ZHA, Y. J. GAO, J.; NI, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. **International Journal of Remote Sensing**. v. 24, n.3, p.583-594, 2003.

ZULLO JUNIOR, J.; Bezerra, P. C.; Guyot, G.; Gu, X. Importância prática da correção atmosférica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8. 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. Artigos, p. 977-978. On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em < <http://martem.dpi.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.02.11.25/doc/T191.pdf>> Acesso em 15 ago. 2016.

## INFERÊNCIA DA PROFUNDIDADE DA ZONA EUFÓTICA E DO COEFICIENTE VERTICAL DE ATENUAÇÃO DE LUZ NA ÁGUA DA REPRESA MAUÁ, RIO TIBAGI/PR, A PARTIR DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS LANDSAT-8/OLI

### **Adriana Castreghini de Freitas Pereira**

Universidade Estadual de Londrina-UEL,  
Departamento de Geociências, Programa de Pós-  
Graduação em Geografia-PPGG  
Londrina - Paraná  
adricfp@gmail.com

### **Paulo Henrique Marques de Castro**

Universidade Estadual do Norte do Paraná -  
UENP  
Programa de Pós-Graduação em Geografia –  
PPGG-UEL  
Cornélio Procópio – Paraná  
henrickoss@gmail.com

**RESUMO:** Pesquisas científicas de qualidade das águas, em geral, usam modelos empíricos de inferência de componentes da água a partir de outros observados em campo, permitindo uma maior representatividade espacial da variável, além de redução de custos. Pesquisadores ambientais utilizam a Profundidade de Secchi no cálculo indireto do coeficiente vertical de atenuação de luz na água e na avaliação da extensão da zona eufótica, para a classificação de tipos de água para os ecossistemas aquáticos brasileiros. Então, o objetivo principal dessa pesquisa foi realizar a inferência da profundidade da zona eufótica e do coeficiente vertical de atenuação de luz na água do Reservatório da UHE Mauá/PR, utilizando uma

imagem multiespectral Landsat-8/OLI, nas bandas espectrais 1 (450-510 nm); 2 (530-590 nm); 3 (640-690 nm); 4 (850-880 nm) e 5 (1570-1650 nm) e dados coletados “in situ”, gerando um modelo de inferência de transparência da água, a partir dos dados disponíveis. Após ajustes e processamentos iniciais, os dados foram submetidos a uma análise de correlação, onde não foram encontradas correlações significativas ao nível de confiança de 5% , não sendo gerado o modelo de inferência. A partir dos dados medidos “in situ” em pontos amostrais específicos foi possível estimar o coeficiente de atenuação vertical da luz na água do reservatório, classificar a água como eutrófica e estimar a profundidade da zona eufótica como muito estreita (entre 2,29 m e 2,97 m). Assim concluiu-se que o reservatório apresenta pouca concentração de sólidos em suspensão e encontra-se eutrofizado.

**PALAVRAS-CHAVE:** sensoriamento remoto da água, profundidade da zona eufótica, transparência da água.

**ABSTRACT:** Scientific researches focused on the water quality use, in general, empirical models of inference on water components from others observed in field, allowing a better spatial representation of the variable, beyond reduction of costs. Environmental researchers use the Secchi depth in indirect calculation of vertical

attenuation coefficient for water irradiance and in the estimation of stretching euphotic zone to classify water types on Brazilian water ecosystems. Then, the main aim of this research was to realize the inference of water euphotic zone and the vertical attenuation coefficient for water irradiance in UHE Mauá/PR Reservoir, using the Landsat-8/OLI multispectral image, in spectral bands 1 (450-510 nm); 2 (530-590 nm); 3 (640-690 nm); 4 (850-880 nm) and 5 (1570-1650 nm) and spectral data collected “in situ”, and to generate an inference model of water transparency through available data. After adjustments and initial processing, the data were submitted to a correlation analysis, where there were found significant correlations 5% confidence level, not being raised the inference model. The data collected in situ sampling points, made it possible to estimate the vertical light attenuation coefficient in the water of the reservoir; classifying water as eutrophic; and estimate the depth of the photic zone, too narrow (between 2,29 m and 2,97 m). So concluded that the reservoir presents not much concentration of suspended solids and are in eutrophication.

**KEYWORDS:** remote sensing of water, euphotic zone depth, water transparency.

## 1 | INTRODUÇÃO

Nas discussões atuais sobre a disponibilidade de água potável, esquisadores e ambientalistas tem realçado as questões mais relevantes para o período pós-2015. Num horizonte de análise que se estende até 2050, a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), destaca que a maior ameaça ao modo de vida e a própria existência humana é a escassez de água para consumo doméstico e agrícola e suas implicações para as mudanças climáticas, aparentemente já em curso (Elliott et al., 2014). Dentre as metas para desenvolvimento sustentável (Griggs et al. 2013) destaca-se o alcance universal de acesso à água potável e esgoto, duas metas amplamente relacionadas, visto que a falta de saneamento básico é um dos fatores que mais contribuem para a escassez relativa de água potável, aquela escassez que não depende da quantidade de água mas de sua qualidade para consumo. As condições para o alcance dessas metas dependem da mudança do comportamento humano “Nenhuma dessas seis metas é possível sem uma mudança no campo econômico” (Griggs et al., 2013, pag. 307) e da elaboração de políticas públicas no campo dos recursos hídricos (Fracalanza et al., 2013) que incorporem medidas compensatórias e distributivas e que minimizem os efeitos perversos das desigualdades socioeconômicas.

Essas questões atuais da sociedade justificam a elaboração de pesquisas científicas que contribuam para um melhor aproveitamento e gerenciamento do recurso natural água de qualidade para o abastecimento da população humana.

Nesse sentido, pesquisas científicas relacionadas com a qualidade das águas, utilizam, dentre os métodos disponíveis para análises ambientais, as análises de correlação entre as concentrações dos componentes opticamente ativos e informações espectrais de corpos d’água obtidas a partir de dados orbitais – multiespectrais

e hiperespectrais; além de espectroradiometria de campo (LOBO, et al., 2016; VERPOORTE, 2014; HAMBRIGHT, 2014; GIARDINO et al., 2014; OLMANSON, et al., 2013; ROESSLER, et al., 2013; McCULLOUGH et al., 2012; NAS et al., 2008; SIMIS et al., 2005; CURRAN e NOVO, 1998; ALLEE e JOHNSON, 1999; NOVO et al., 1996; GODIN et al 1993). A construção de modelos empíricos para estimar alguns desses componentes, a partir de outros observados em campo, permite maior representatividade espacial da variável e reduz os custos de trabalho de campo, muitas vezes com a redução das análises de laboratório.

A transparência do corpo d'água é um dos parâmetros físicos observados na análise de sua qualidade. Este parâmetro pode ser obtido através da leitura da profundidade do disco de Secchi, ou seja, a partir da observação do desaparecimento de um disco branco mergulhado na água. O valor do disco de Secchi tem uma relação direta com a transparência da água e inversa à quantidade de compostos orgânicos e inorgânicos no percurso da luz e também ao coeficiente de atenuação da irradiância (Pereira Filho, 2000), ou seja, a profundidade de desaparecimento do disco de Secchi corresponde àquela profundidade na qual a radiação de 400 – 740 nm (faixa visível) refletida do disco não é mais sensível ao olho humano (Esteves, 1998). A transparência da água, além de ser uma característica física de fácil obtenção em campo, apresenta correlação com a radiação eletromagnética superficial do corpo d'água, que pode ser avaliada, tanto por medidas espectrorradiométricas tomadas "in situ", quanto pelas imagens multiespectrais tomadas por sensores instalados em plataformas orbitais.

O presente artigo faz parte de uma pesquisa maior cujo objetivo principal é realizar a construção de modelos empíricos de inferência para alguns componentes opticamente ativos na água, por meio do sensoriamento remoto orbital. Para este artigo, traçou-se como objetivo principal a inferência da profundidade da zona eufótica e do coeficiente vertical de atenuação de luz na água de uma represa, utilizando imagens multiespectrais de média resolução espacial do Landsat-8/OLI.

## **2 | METODOLOGIA DE TRABALHO**

Para o desenvolvimento da pesquisa, uma imagem multiespectral de média resolução espacial do satélite Landsat-8/OLI (bandas espectrais 1, 2, 3 e 4, correspondentes respectivamente aos intervalos de comprimento de onda entre 450 e 510 nm; 530 e 590 nm; 640 e 690 nm; 850 e 880 nm) foi adquirida simultaneamente à realização de um levantamento de campo, no qual foi medida a Profundidade de Secchi em pontos amostrais previamente definidos.

Análises de correlação entre os dados coletados "in situ" (Profundidade de Secchi) e a imagem multiespectral, foram realizadas. Métodos de regressão linear clássica foram aplicados a fim de gerar modelos de inferência de transparência da água, estimando-se, assim, a distribuição espacial da variável em estudo, para os modelos que consideram os dados da imagem multiespectral. Por fim, foi feita a inferência da



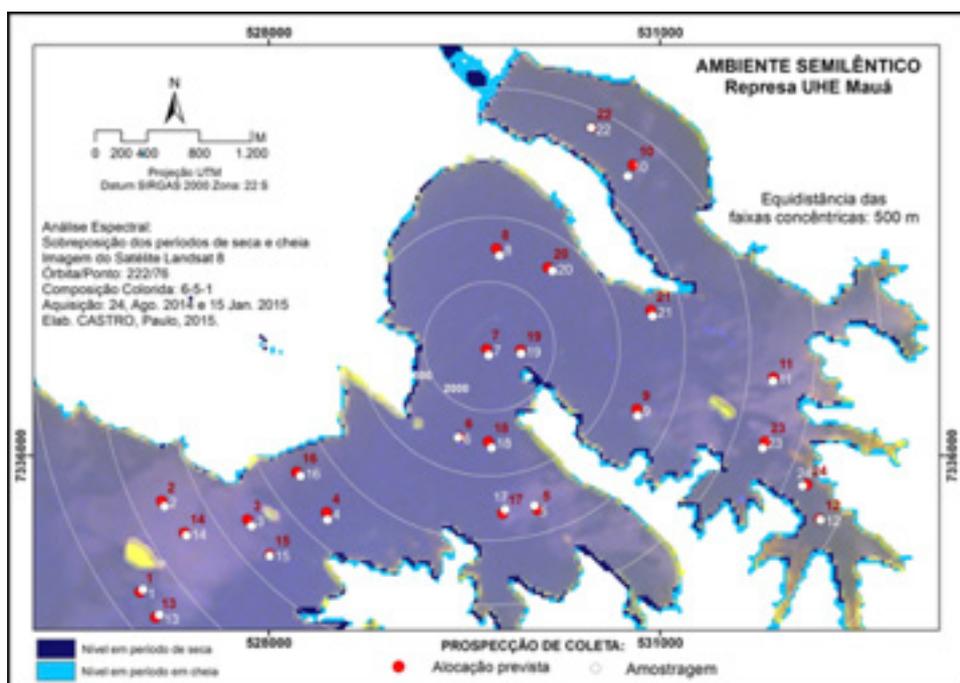


Figura 2. Mapa de modelagem amostral de pontos, utilizando imagem multiespectral do Landsat 8, no lago do reservatório da UHE Mauá, por meio de distribuição de Faixas Concêntricas

O levantamento de dados “in situ” ocorreu no dia 17 de dezembro de 2015. As condições de iluminação (nebulosidade) e vento (ondas na superfície da água) foram anotadas em planilhas de campo. Simultaneamente ao levantamento de dados em campo, foi adquirida uma imagem multiespectral de média resolução espacial do satélite Landsat-8/OLI da área de estudo, correspondente às bandas B1 – denominada *new coasta*; B2; B3; B4 e B5.

Devido à necessidade de sincronismo entre a aquisição de diferentes tipos de medidas e tomada da imagem, a definição da melhor data foi escolhida a partir do catálogo de imagens do Landsat-8/OLI, disponível no site do USGS-USA.

## 2.1 Imagem Multiespectral do Satélite LANDSAT-8/OLI

A imagem multiespectral do Landsat-8/OLI, correspondente às bandas B1, B2, B3 e B4, com intervalos espectrais respectivamente de 450 – 510 nm; 530 – 590 nm; 640 – 690 nm; 850 – 880 nm e 1570 – 1650 nm, foi submetida a tratamentos a fim de torná-la espacial e radiometricamente compatível com a Profundidade de Secchi tomada “in situ”. Tais tratamentos foram: georreferenciamento das cenas, máscara de recorte do corpo d’água e correções radiométrica e atmosférica.

O georreferenciamento da imagem foi realizado no programa SPRING, utilizando a Transformação Afim no plano e 20 pontos de controle. O resíduo da transformação geométrica foi de 1 pixel, considerado aceitável para o trabalho.

A delimitação do reservatório foi feita no Spring, a partir da escolha de uma

segmentação por crescimento de regiões usando parâmetros de similaridade igual a 20 e área de 200 pixels, após testes realizados com outros valores, pelo fato desta ser a mais apropriada para delimitar o contorno da represa, por comparação com as demais. Aplicou-se a técnica de classificação não-supervisionada Ioseg para agrupar as regiões definidas na segmentação, com valor de limiar igual a 90%. O mapeamento das classes temáticas foi realizado e a edição manual do contorno. A máscara gerada foi utilizada para o recorte dos Planos de Informação referentes às quatro bandas da imagem multiespectral.

A calibração radiométrica foi realizada com o objetivo de converter os ND's (números digitais) da imagem original em radiância espectral. Para tanto, a radiância espectral ou radiância no sensor foi calculada no *software* QGIS.

A correção atmosférica, que objetiva a conversão dos ND's (números digitais) ou valores de brilho da imagem original em reflectância aparente, foi realizada baseando-se no método empírico de Chavez (1989), denominado DOS - *Dark Object Subtraction* -utilizando para isso o *software* QGIS. Este método consiste na correção do espalhamento atmosférico no qual a interferência atmosférica é estimada diretamente a partir dos números digitais (ND) da imagem de satélite, sendo ignorada a absorção atmosférica. Para a aplicação desta técnica não há a necessidade de se obter dados sobre as condições atmosféricas na data de obtenção das imagens. No método DOS assume-se que há uma grande probabilidade de existir alvos (pixels) escuros nas imagens, como sombras ocasionadas pela topografia ou por nuvens, os quais deveriam apresentar um ND muito baixo na imagem, equivalente a cerca de 1% de reflectância (Chavez, 1989).

Realizadas as operações de pré-processamento da imagem, foi aplicada a razão de bandas aos valores extraídos nos pontos de interesse, conforme Kirk (1994), Barbosa (2005), Rundquist (1996), Hoge et al. (1987); Gitelson (1992) envolvendo as cinco bandas do Landsat-8:

- |                     |     |
|---------------------|-----|
| $[(B3-B4)/(B3+B4)]$ | (1) |
| $(B4/B3)$           | (2) |
| $(B3/B4)$           | (3) |
| $(B4/B5)$           | (4) |
| $(B3/B4)$           | (5) |
| $(B4/B2)$           | (6) |
| $(B2/B3)$           | (7) |
| $(B2/B5)$           | (8) |

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram analisadas as correlações entre as 5 bandas multiespectrais do Landsat-8/OLI e a Profundidade de Secchi coletada “in situ” e também entre as Razões de Bandas

conforme indicado na bibliografia e o mesmo parâmetro de análise de qualidade da água.

A Figura 3 apresenta a correlação das bandas Landsat-8 e a Profundidade de Secchi.

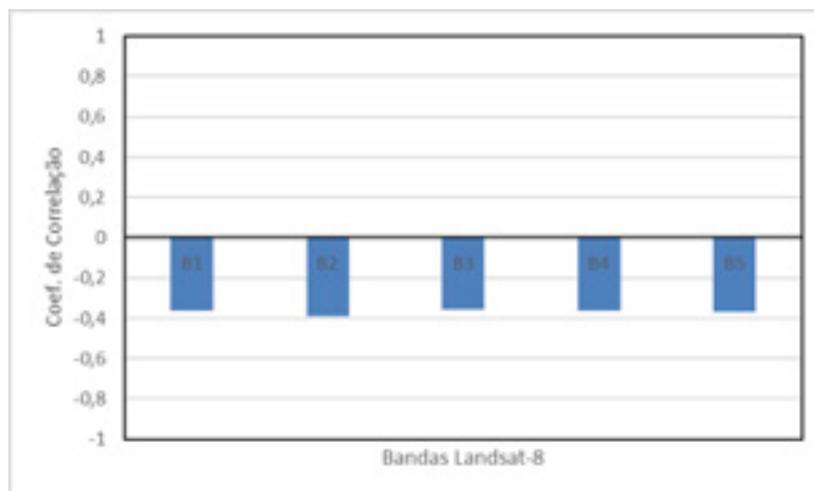


Figura 3. Coeficiente de Correlação entre a Profundidade de Secchi e as Bandas Multiespectrais do Landsat-8/OLI

Observa-se na Figura 3 que não houve correlação significativa a 5% para nenhuma das variáveis analisadas. Nem mesmo a banda 1 que surge no Landsat-8/OLI como apropriada para análise de água (new coastal), alcançou o objetivo esperado para o trabalho.

A Figura 4 apresenta a correlação entre as Razões de Bandas testadas conforme indicação da bibliografia e a Profundidade de Secchi coletada “in situ”.

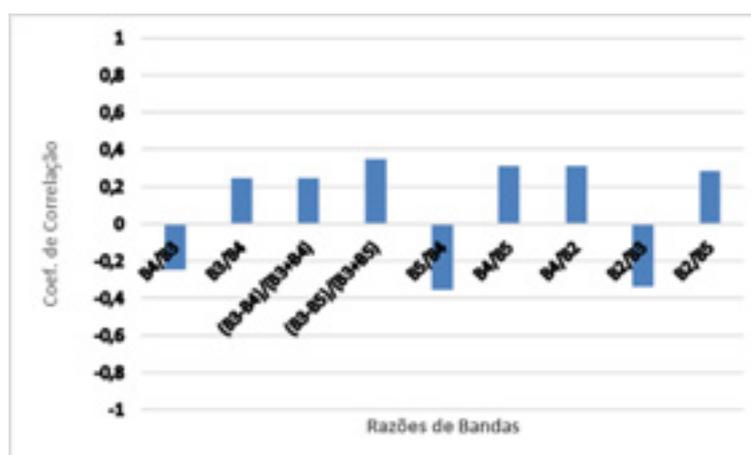


Figura 4. Coeficiente de Correlação entre razões de bandas aplicadas à Imagem Multiespectral Landsat-8/OLI

Observa-se da análise da Figura 4 que, aqui também não foram encontradas correlações significativas a 5% de confiança para os dados analisados. O maior valor de correlação foi de 0,35, muito baixo para uma análise estatística robusta.

Diante dos resultados insatisfatórios obtidos nas análises de correlação, o modelo

empírico de inferência almejado no início da construção do artigo não se realizou, passando-se então para o cálculo do coeficiente de atenuação da luz na água da UHE Mauá, pretendendo-se verificar a profundidade de sua zona eufótica.

Autores como Poole & Atkins são citados por Esteves (1998) como precursores no cálculo do coeficiente vertical de atenuação a partir da Profundidade do disco de Secchi medido “in situ”. De acordo com sua proposta, a Profundidade de Secchi é o inverso do coeficiente de atenuação vertical, sendo a relação (8) definida para esse fim:

$$k = \left( \frac{1,7}{Z_{ds}} \right) \quad (9)$$

onde:  $Z_{ds}$  = Profundidade de Secchi;

1,7 = constante calculada por Poole e Atkins

O cálculo de  $k$  foi realizado para os valores de Profundidade de Secchi medidos “in situ” para os 24 pontos coletados, cuja média resultou em um valor de Profundidade de Secchi = 0,92 m e  $k = 1,85$ . Comparando esse valor obtido com os estudos de Esteves (1998), verifica-se que a constante  $k$  para a represa UHE Mauá aproxima-se do tipo de ambiente “eutrófico”, o que já era esperado, uma vez que houve a construção e início das operações da UHE Mauá.

A Profundidade de Secchi também é utilizada para a avaliação da extensão da zona eufótica, conforme Esteves (1998); Bukata (1995) e Kirk (1994). Para tanto, o valor da Profundidade de Secchi é multiplicado pela constante 2,7. O valor obtido a partir desse cálculo é admitido pelos autores como sendo aproximadamente 1% da radiação superficial do corpo d’água.

A fim de analisar o comportamento da zona eufótica na UHE Mauá, apresenta-se na Tabela 2 o cálculo desta para os 24 pontos amostrados “in situ”, a partir da constante de multiplicação igual a 2,7.

PONTOS	DADOS ESTIMADOS "IN SITU"	
	Prof. de Secchi (m)	Extensão da Zona Eufótica (m)
1	0,85	2,29
2	0,90	2,43
3	0,90	2,43
4	0,95	2,56
5	0,95	2,56
6	0,95	2,56
7	0,85	2,29
8	1,10	2,97
9	1,00	2,51
10	0,93	2,43
11	0,85	2,43
12	0,85	2,56
13	0,90	2,56
14	0,90	2,70
15	0,95	2,43
16	0,95	2,43
17	1,00	2,29
18	0,90	2,70
19	0,90	2,43
20	0,85	2,43
21	1,00	2,43
22	0,90	2,70
23	0,90	2,29
24	0,90	2,29

Tabela 2. Estimativa da extensão da zona eufótica a partir da profundidade de secchi

Analisando a Tabela 2 verifica-se, para os dados medidos “in situ”, que o valor mínimo da profundidade da zona eufótica é igual a 2,29 m (P1, P7, P17, P23 e P24) e o valor máximo corresponde à 2,97 m (P8). Esses valores indicam uma zona eufótica muito estreita para a represa UHE Mauá e com pouca concentração de sólidos em suspensão na água, o que a torna clara e quase transparente.

A classificação do corpo d’água como eutrófico e os valores muito estreitos da zona eufótica indicam que deve ocorrer acumulação de sedimentos no fundo da represa; elevado enriquecimento de nutrientes, com crescimento planctônico e áreas cobertas com plantas aquáticas.

#### 4 | CONCLUSÕES

O objetivo principal da pesquisa foi atingido, tendo sido possível a inferência da

profundidade da zona eufótica e do coeficiente de atenuação vertical de luz na água da represa UHE Mauá/PR. Ambos os resultados permitiram classificar o corpo d'água estudado como tipo de água eutrófico, praticamente transparente na superfície, com pouca concentração de sólidos em suspensão na água.

O objetivo específico que tratou da possível geração do modelo empírico de inferência da profundidade de secchi não foi alcançado, uma vez que as análises de correlação entre as bandas e a profundidade de secchi, bem como entre as razões de bandas e a profundidade de secchi não foram significativas ao nível de confiança de 5%.

Como este artigo faz parte de uma pesquisa maior, onde procura-se estimar outros componentes opticamente ativos na água da represa, através de sensoriamento remoto e análises de regressão estatística, espera-se encontrar essas correlações e consequentemente modelos de inferência, a medida que a pesquisa caminha.

## REFERÊNCIAS

- BARBOSA, C.C.F. **Sensoriamento Remoto da dinâmica da circulação da água do sistema planície de Curuai/Rio Amazonas**. São José dos Campos, 2005. 281 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - INPE.
- BUKATA, R. P. J. KOONDRATYEV, K.Y.; POZOZDNYAKOV, D.V. **Optical properties and remote sensing of inland and coastal waters**. Boca Taton: CRC, 1995. 362p.
- CHAVEZ, Jr., P.S. Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper multispectral images. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.55, p.1285-1294, 1989.
- CURRAN, P.J.; NOVO, E.M.M. The relationship between suspended sediment concentration and remotely sensed spectral radiance: a review. **Journal of Coastal Research**, v.4, n.3, p.351-368, 1988.
- ELLIOTT, J. et al. Constraints and potentials of future irrigation water availability on agricultural production under climate change. **PNAS**, 2014, v.111, n.9, 3239-3244. ([www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1222474110](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1222474110)).
- ESTEVES, F.A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência/Finep. 2.ed. 575p. 1998.
- FRACALANZA, A.N., JACOB, A.M., EÇA, R.F. Justiça Ambiental e práticas de governança da água: (re) introduzindo questões de igualdade na agenda. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, 2013. v. XVI, n.1, p.19-38.
- FREITAS PEREIRA, Adriana Castreghini. Reservoir Water-Transparency Mapping by Means of Multispectral Ikonos Imagery. In: **Lecture Notes in Geoinformation and Cartography**. 1 ed. New York Dordrecht London : **Springer Berlin Heidelberg**, 2014, v.1, p. 285-301.
- GIARDINO, C. BRESCIANI, M., CAZZANIGA, I., SCHENK, K., RIEGER, P., BRAGA, F., MATTA, E., BRANDO, V.E. Evaluation of Multi-Resolution Satellite Sensors for Assessing Water Quality and Bottom Depth of Lake Garda. **Sensors**, 14, 24116-24131, 2014. ISSN: 1424-8220.
- GITELSON, A. The peak near 700 nm on radiance spectra of algae and water: relationships of its magnitude and position with chlorophyll concentration. **International Journal of Remote Sensing**, v. 13, n. 17, p. 3367-3373, 1992.

GRIGGS, D. et al. **Nature**, 2013. v.495.

HAMBRIGHT, K.D., XIAO, X., DZIALOWSKI, A.R. Remote Sensing of WQ and harmful algae in OK Lakes. **Remote Sensing of Environment** (2014), 2, 100-120.

HOGUE, E. F., WRIGHT, C. W., & SWIFT, R. N. Radiance ratio algorithm wavelengths for remote oceanic chlorophyll determination. **Applied Optics**, v. 26, n. 11, p. 2082–2094, 1987.

KIRK, J.T.O. **Light & Photosynthesis in aquatic ecosystems**. Cambridge University Press, 509p., 1994.

LOBO, F.L., COSTA, M.P., NOVO, E.M. Time-series analysis of Landsat-MSS/TM/OLI images over Amazonian waters impacted by gold mining activities. **Remote Sensing of Environment** (2016), 157, 170-184.

NOVO, E.M.L.M.; BRAGA, C.Z.F.; TUNDISI, J.G. Use of TM/Landsat data to retrieve the optically active water constituents from a eutrophic tropical reservoir. **Proceedings of ISPRS Commission VII Symposium: Resource and Environmental Monitoring**, Rio de Janeiro, sept. 20-30, 1994, INPE, Vol.30, Part76, 1994, p.258-262.

OLMANSON, L., BREZONIK, P.I., BAUER, M.E. Airborne hyperspectral remote sensing to assess spatial distribution of water quality characteristics in large rivers: The Mississippi River and its tributaries in Minnesota. **Remote Sensing of Environment** (2013), 130, 254-265.

PEREIRA, A.C.F.; GALO, M.L.B.T.; VELINI, E.; NOVO, E.M.L.M. 2007. Amostragem em corpos d'água: Definição de elementos amostrais, posicionamento e coleta de dados "in situ". In: II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. 2007, Presidente Prudente. **Anais do II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**, 2007, p.866-874.

PEREIRA FILHO, W. **Influência dos diferentes tipos de uso da terra em bacias hidrográficas sobre sistemas aquáticos da margem esquerda do Reservatório de Tucuruí – Pará**. São Paulo, 2000. 130 p. Tese (Doutorado em Geografia) – USP.

RUNDQUIST, D. C.; LUOHENG, H.; SCHALLES, J. F.; PEAKE, J. S. Remote measurement of algal chlorophyll in surface waters: the case for first derivative of reflectance near 690 nm. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 62, n. 2, p. 195-200, 1996.

SIMIS, S.G.H., PETERS, S.W.M., GONS, H.J. Remote sensing of the cyanobacterial pigment phycocyanin in turbid inland water. **Limnology and Oceanography**, 2005, 50(1), 237-245.

VERPOORTE, C., KUSTER, T., SEEKELL, D.A., TRANVIK, L.J. A global inventory of lakes based on high-resolution satellite imagery. **AGU Publications, Geophysical Research Letters** (2014), 41, 6396-6402.

## MODELAGEM DE CORREDORES ÓTIMOS PARA INSTALAÇÃO DE EMPREENDIMENTOS FERROVIÁRIOS COM O SOFTWARE LIVRE DINÂMICA EGO A PARTIR DE PRODUTOS GRATUITOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

### Felipe Ramos Nabuco de Araújo

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis  
Brasília - DF

### Jefferson William Lopes Almeida

Universidade Federal de Minas Gerais –  
UFMG/IGC  
Belo Horizonte - MG

### Ítalo Sousa de Sena

Universidade Federal de Minas Gerais –  
UFMG/IGC  
Belo Horizonte - MG

### Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega

Universidade Federal de Minas Gerais –  
UFMG/IGC  
Belo Horizonte - MG

**RESUMO:** Um dos grandes desafios enfrentados pelo planejamento de transportes no Brasil é o uso de métodos ultrapassados para lidar com um grande número de variáveis e políticas. As tecnologias geoespaciais, como o GIS e o sensoriamento remoto, permitem não apenas a otimização do processamento de dados e das saídas gráficas, mas também criam um modelo abrangente para lidar com a análise de dados espaciais e computar cenários preditivos para o planejamento do transporte. Este artigo apresenta uma técnica para modelar corredores ótimos para projetos ferroviários usando

software e dados disponíveis gratuitamente. A solução empregou dados TOPODATA e LANDSAT-8, e foi construída sobre a plataforma Dynamic EGO. O estudo de caso corresponde a 120km de um trecho planejado de ferrovia federal entre Comodoro / MT e Vilhena / RO. Seis principais variáveis de interesse integram o escopo da análise multicritério: vegetação, uso antrópico, áreas desenvolvidas, declividade, terras indígenas protegidas e distância das estradas. A modelagem foi realizada em três cenários diferentes. Cada cenário corresponde a um conjunto de pesos para as variáveis. Os resultados mostram o potencial da técnica para projetar corredores de transporte integrando uma diversidade de dados complexos. O modelo fornece uma excelente solução para o acesso antecipado à área do corredor para análise de impacto ambiental e estudos de mitigação. Além das ferrovias, o modelo pode ser personalizado para outros tipos de projetos de infraestrutura, como estradas, linhas de transmissão e oleodutos.

**PALAVRAS-CHAVE:** sensores remotos, modelagem, corredores de transportes, sensoriamento remoto, modelagem, ferrovias.

**ABSTRACT:** One of the big challenges faced by transportation planning in Brazil is the use of outdated methods to deal with large number of variables and policies. Geospatial technologies

such as GIS and remote sensing allow not only the optimization of the data processing and graphic outputs, but also build up a comprehensive model to handle spatial data analysis and compute predictive scenarios for transportation planning. This paper presents a technique for modeling optimal corridors for railroad projects using freely available software and data. The solution employed TOPODATA and LANDSAT-8 data, and was built on Dynamic EGO platform. The case study corresponds to 120km of a planned federal railroad segment between Comodoro/MT and Vilhena/RO. Six major variables of interest integrates the scope of the multicriteria analysis: vegetation, anthropic use, developed areas, slope, native indian protected lands and distance from roads. The modeling was performed at three different scenarios. Each scenario correspond to a set of weight for the variables. The model was proposed to be flexible regarding the variables of interest, robust regarding the performance, and replicable regarding other areas to be applied to. The results show the potential of the technique to design transportation corridors integrating a diversity of complex data. The model provides a outstanding solution for early accessing the corridor area for environmental impact analysis and mitigation studies. Other than railroads, the model can be customized to other types of infrastructure projects such as roads, transmission lines and pipelines.

**KEYWORDS:** remote sensing, modeling, transportation corridors, railways

## 1 | INTRODUÇÃO

O cenário de crescimento econômico observado no Brasil nos últimos anos trouxe a tona deficiências na matriz de transporte do país, o que tem comprometido o escoamento da produção e aumentado o tempo e o custo no transporte das commodities. Entretanto, o planejamento de corredores de transporte lida com um volume elevado de variáveis e considerações de caráter restritivo, de modo a anteceder inconsistências técnicas e impactos da obra (Stich et al, 2011). Este fator pode contribuir consideravelmente para que a implementação de novas linhas sejam planejadas de médio a longo prazo, aumentando os custos das mesmas.

A modelagem espacialmente explícita refere-se a um procedimento teórico envolvendo um conjunto de técnicas de estudo da dinâmica da paisagem. De modo geral pode ser entendida como a possibilidade de descrever características da realidade prevendo comportamentos, transformações ou uma evolução com a finalidade de compor um quadro simplificado e inteligível do mundo (Christofolletti, 1999).

Os modelos dinâmicos da paisagem estão interligados com a difusão das geotecnologias nas últimas décadas, sobretudo com relação às plataformas de geoprocessamento com uma gama de *softwares* específicos para estudos ambientais, como também, a disponibilidades de dados de sensores remotos de fácil acesso ao público civil. Lima et al. (2013) destacam que os modelos dinâmicos espaciais tornaram-se mais sofisticados com o incremento de algoritmos computacionais complexos, como é o caso das redes neurais, autômatos celulares, lógica fuzzy e

algoritmos genéticos.

Desta forma, entende-se que a utilização de produtos orbitais aliado às técnicas de modelagem ambiental possui um considerável potencial de auxílio às análises prévias de impacto e/ou planejamento de projetos de infraestrutura, tendo em vista a capacidade da modelagem em atuar na análise de sistemas ambientais complexos.

O objetivo proposto neste trabalho é avaliar a utilização do software livre Dinamica EGO na modelagem de corredores ótimos para instalação de empreendimentos ferroviários, a partir de dados originados do processamento de imagens Landsat-8 e produtos do projeto TOPODATA. Tem-se como resultado esperado a introdução de uma técnica e ferramenta aos estudos que são desenvolvidos no planejamento de transportes.

## 2 | ANÁLISE E TOMADA DE DECISÃO POR MÚLTIPLOS CRITÉRIOS E SIG

Moura (2014, p. 4) afirma que o geoprocessamento, segundo a maioria dos autores da área, engloba o processamento digital de imagens, a cartografia digital e SIG. Embora o conceito de SIG seja diverso (MAGUIRE, 1991), pode-se caracterizá-lo como os sistemas informatizados que apoiam o geoprocessamento facilitando a entrada, armazenamento, processamento, análise e saída de dados espaciais (GRIMSHAW, 1994 apud MALCZEWSKI, 1999 p. 16).

McKenna (1980, apud JANKOWSKI, 1995) distingue quatro etapas que compõem um ambiente de tomada de decisão: definição do problema, desenvolvimento de alternativas e critérios, avaliação das alternativas e seleção da alternativa preferencial. De acordo Jankowski (1995), é justamente na etapa de desenvolvimento de alternativas que sistemas de informações geográficas (SIG) são aplicados como técnica de apoio ao processo decisório por múltiplos critérios, seja na busca por possíveis locais ou rotas.

Problemas de decisão espacial normalmente envolvem um grande conjunto de alternativas viáveis e múltiplos, conflitantes e incomensuráveis critérios de avaliação (Malczewski, 2006). São avaliados por um número diverso de indivíduos (tomadores de decisão, gestores, partes interessadas, grupos de interesse), que por sua vez são caracterizados por preferências únicas no que diz respeito à importância relativa dos critérios que subsidiam uma análise (MALCZEWSKI, 2006).

O processo de tomada de decisão multicriterial, ou *Multiple Criteria Decision Making* (MCDM), surge como ferramenta de apoio a tomadores de decisão na seleção de uma melhor alternativa, em situações onde um conjunto de alternativas pré-selecionadas, múltiplos critérios e diferentes prioridades devem ser considerados (JANKOWSKI, 1995).

Nobrega et al (2009, p. 624) definem MCDM como “uma metodologia sistemática para gerar, classificar, comparar e selecionar múltiplas alternativas conflitantes,

utilizando diferentes fontes de dados e atributos”. Em contraste com as técnicas tradicionais de análise de custo e benefício, ou *Cost Benefits Analysis* (CBA), que promovem a monetização de critérios, métodos MCDM podem oferecer maior compreensão aos usuários sobre o entendimento da decisão e possibilitar a obtenção de valores diretamente junto a partes interessadas, enquanto que por outro lado podem apresentar uma “poluição” de informações que dificultem a interrelação dos agentes atuantes e dificuldades de repetição nos resultados considerando a diversidade dos atores que participam do processo (HOBBS; MEIER, 2011).

Em problemas que demandem análises espaciais multicriteriais, a integração entre SIG e MCDM se dá pela capacidade de SIG quanto à aquisição, armazenamento, recuperação, manipulação e análise de dados, em conjunto com os recursos de MCDM em agregar dados geográficos e preferências de tomadores de decisão em valores unidimensionais e diferentes alternativas de decisão (MALCZEWSKI, 1999, p. 91).

Podem envolver estudos de localização de empreendimentos pontuais, como lojas, atividades recreativas, instalações para eliminação de resíduos ou ainda seleção de rotas otimizadas de projetos lineares como dutos, ferrovias e linhas de transmissão (JANKOWSKI, 1995, p. 252).

Por envolver critérios com diferentes níveis de importância para a tomada de decisão, problemas de análise multicriterial utilizam técnicas para a atribuição de pesos, que tem como objetivo determinar em valor a importância relativa de um determinado critério em comparação aos demais. Quanto maior o peso, maior a importância do critério (MALCZEWSKI, 1999, p. 177). Estas técnicas podem ser diferenciadas quanto ao número de julgamentos necessários para a priorização dos critérios, quanto a escala numérica que trabalha, quanto a possibilidade ou não de hierarquização, facilidade de uso e precisão.

### 3 | METODOLOGIA

O desenvolvimento do presente trabalho seguiu as etapas elencadas no fluxograma metodológico apresentado na figura 2, detalhado adiante no texto.



Figura 1. Fluxograma metodológico do trabalho

### 3.1 Pré processamento

Para a concretização deste estudo inicialmente realizou-se a aquisição das imagens do satélite Landsat, sensor *Operational Land Imager* (OLI), disponibilizadas gratuitamente pelo sítio do *Earth Explorer*. As imagens adquiridas referem-se à cena com órbita/pontos 229/69 imageada no período de inverno do ano de 2014. De posse das imagens, no *software* ArcGis 10.2, optou-se pela conversão radiométrica das bandas 6,5,4 e a 8 (pancromática) para 8 bits, como também, a reprojeção das mesmas para Projeção/Datum WGS 1984 / UTM Zona 21S .

Feito isso, a fim de gerar uma imagem multiespectral ocorreu o processo de composição de bandas. O resultado desse processo consistiu na composição colorida 6G 5R 4B. Com a imagem composta foi realizado o procedimento de fusão de bandas, alterando as imagens para 15m de resolução espacial, onde foi utilizada a imagem multiespectral de 30m de resolução espacial e a pancromática de 15m no processo de *pan-sharpening* no *software* ArcGis.

Ainda na etapa de processamento digital de imagem, realizou-se a classificação não supervisionada, algoritmo ISODATA, da imagem fusionada. Dessa forma, obtiveram-se as classes temáticas: urbano, vegetação e uso antrópico (referente ao agrupamento das áreas destinada ao plantio e pecuária).

Além da imagem do Landsat, foi adquirida também, a declividade pelo Modelo Digital de Elevação elaborado a partir dos dados SRTM disponibilizados pelo sítio do projeto Topodata. As declividades estão estruturados em quadrículas compatíveis com a articulação 1:250.000, e foram baixadas de acordo com as seguintes folhas: 12s615, 12s60, 13s615 e 13s60.

De posse das quadrículas da declividade realizou-se o mosaico das imagens. Para atenuar as regiões de bordas e detalhes finos da imagem final, utilizou a filtragem passa-baixa. Finalizado o pré-processamento, os dados iniciais foram padronizados de forma a gerar dados em formato matricial. Este procedimento visa à preparação dos dados matriciais como variáveis de entrada no *software* DINAMICA EGO.

### 3.2 Materiais e métodos

No presente trabalho optou-se por utilizar o *software* livre DINAMICA EGO (*Environment for Geoprocessing Objects*), que consiste em uma plataforma de modelagem que executam por meio de operadores matemáticos, chamados ‘functores’, modelos espacialmente explícitos, além de utilizar algoritmos para calibração e validação das simulações (Soares-Filho et al., 2013).

Para a modelagem proposta, os algoritmos utilizados tem como objetivo o cálculo de uma superfície de custo a partir de dados Raster para, em seguida, a determinação de corredores de menor custo. O modelo foi dividido em três etapas, a saber:

Etapa 1 - Cálculo da Superfície de Custo ou Fricção: Tem como dados de entrada arquivos Raster que representam as variáveis do espaço que de alguma forma

influenciam no planejamento do projeto, como declividade, vegetação, existências de Terras Indígenas, unidades de conservação, áreas urbanas, etc.

A superfície de custo é o resultado do produto dos mapas de pesos que são construídos a partir da reclassificação de cada variável de entrada. Representa o custo relativo de atravessar uma unidade de célula dependendo do uso da terra e outras variáveis relativas a área objeto do estudo (Soares-Filho et al, 2013). Esta reclassificação é realizada por meio de um algoritmo de construção de mapas que segue uma expressão pré-determinada. Como exemplo, pode-se reclassificar um mapa de declividade a partir da expressão apresentada na Figura 2, sabendo-se que a declividade está representada em graus e que  $i_2$  representa o valor de cada unidade de célula do mapa.

```
if i2 < 3 then
  1
else if i2 < 8 then
  4
else if i2 < 20 then
  6
else if i2 < 30 then
  9
else if i2 < 45 then
  9
else
  9
```

Figura 2. Exemplo de expressão utilizada para reclassificação das variáveis de entrada do modelo.

Etapa 2 – Cálculo da superfície de custo de distância dos pontos que se pretende conectar com a ferrovia: utilizando como dados de entrada a superfície de custo resultante da etapa 1 e um mapa categórico para cada localidade que se pretende conectar, aplica-se um algoritmo de criação de uma mapa de custo. A estrutura desta etapa está apresentada na figura 3.

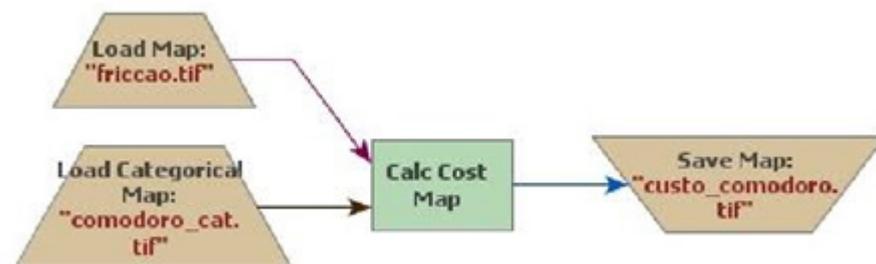


Figura 3. Estrutura do modelo de cálculo das superfícies de custo de distância no ambiente do *software* Dinamica EGO (exemplo para a distância do município de Comodoro).

Etapa 3 – Cálculo do corredor ótimo: O corredor será resultado da soma dos

mapas de custo de distância para cada ponto que se pretende conectar, resultantes da etapa 2. A estrutura desta etapa está apresentada na figura 4.

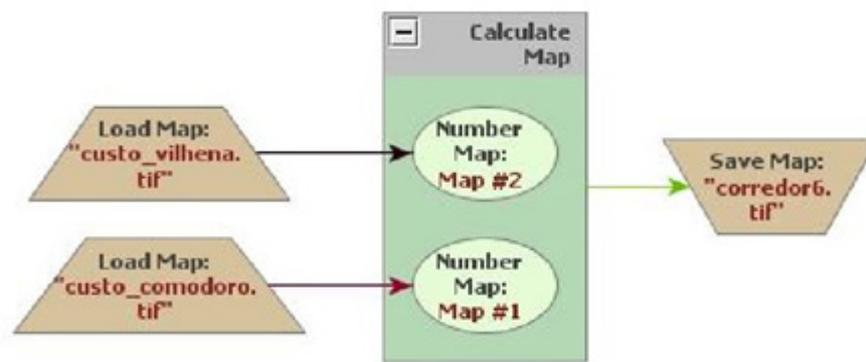


Figura 4. Estrutura do modelo de cálculo do corredor ótimo no ambiente do software

Dinamica EGO

Para a verificação proposta neste estudo, optou-se por utilizar seis variáveis de entrada, conforme detalhado na tabela 1.

Variável	Formato dos dados e conceituação
Vegetação	Arquivo no formato Raster resultante da classificação de cobertura das imagens LANDSAT 8. Corresponde a espacialização das áreas de vegetação nativa presentes na região.
Uso antrópico	Arquivo no formato Raster resultante da classificação de cobertura das imagens LANDSAT 8. Corresponde a espacialização das áreas degradadas, áreas de pasto e áreas de cultivo presentes na região.
Áreas urbanas	Arquivo no formato Raster resultante da classificação de cobertura das imagens LANDSAT 8. Corresponde a espacialização das áreas urbanas presentes na região.
Declividade	Arquivo no formato Raster obtido do Projeto TOPODATA. Indica em graus a declividade do terreno.
Terras Indígenas	Arquivo no formato Raster resultante da conversão para Raster de arquivos vetoriais obtidos junto a FUNAI. Corresponde a espacialização das Terras Indígenas presentes na região.

Distância de Rodovias	Arquivo no formato Raster resultante da operação de cálculo da Distância euclidiana de rodovias. A localização das rodovias foi obtida a partir de arquivos vetoriais obtidos junto ao DNIT. Corresponde a espacialização do aumento de custo da superfície na medida em que se distancia das rodovias existentes na região.
-----------------------	---

Tabela 1. Variáveis de entrada utilizadas na modelagem

#### 4 | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para a avaliação proposta, optou-se por englobar um trecho da Ferrovia Transcontinental (EF-354) localizado na porção norte do estado do Mato Grosso, conforme pode ser visualizado na figura 5.

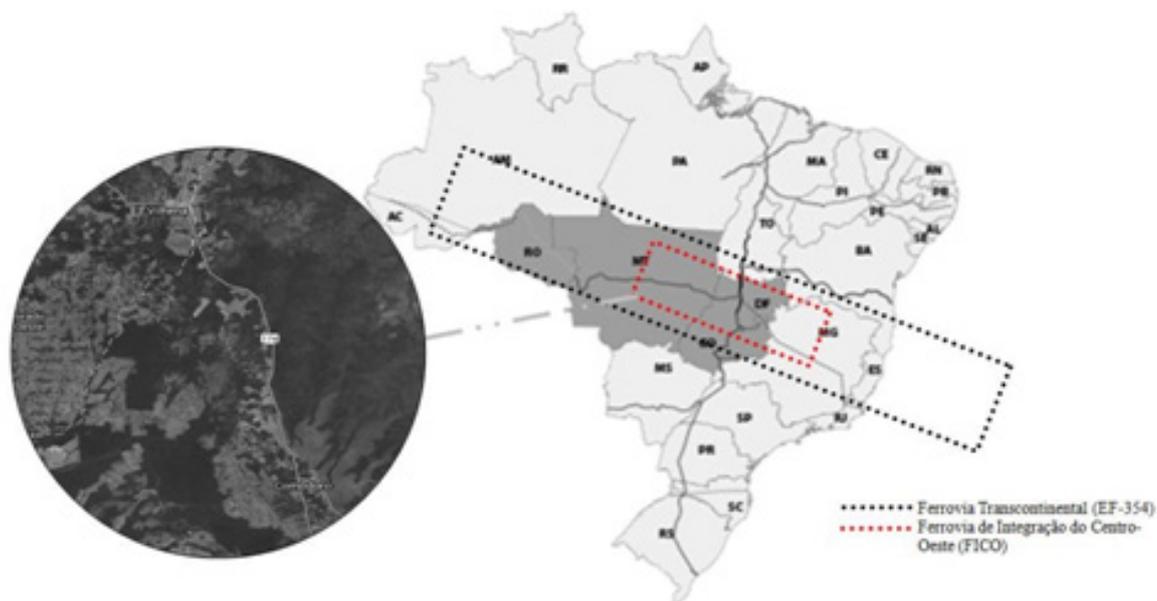


Figura 5. Mapa de localização da área de estudo.

O empreendimento em questão está projetado para ter aproximadamente 4.400 Km de extensão entre o litoral norte do Rio de Janeiro e a localidade Boqueirão da Esperança no Acre (Valec, 2014). Entre Campinorte/GO e Vilhena/RO a ferrovia é denominada Ferrovia de Integração do Centro-Oeste (FICO) (Valec, 2014).

Ao longo de todo o traçado, existem trechos em diferentes status de execução, seja com estudos já concluídos, estudos em andamento ou ainda a serem projetados (Valec, 2014). O trecho escolhido como objeto deste trabalho compreende uma parte de toda a ferrovia, a qual intercepta os municípios de Comodoro/MT e Vilhena/RO, parte integrante do projeto objeto da Licença Prévia nº 493/2014 emitida pela Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) em 03 de outubro de 2014 (Ibama, 2014).

A região apresenta uma boa preservação ambiental, conciliada a existência de áreas especiais de proteção como Terras Indígenas e Unidades de Conservação, além de graus de antropização variável, especialmente próximos aos núcleos de desenvolvimento dos pólos agrícolas estaduais e municipais (Valec e STE, 2012).

Não é objetivo deste estudo a avaliação técnica de viabilidade do traçado aprovado pela licença ambiental supracitada, pois se trata de uma análise mais ampla, complexa, multivariada e multidisciplinar que é feito ao longo do processo de licenciamento ambiental. Em contrapartida, o trabalho visa explorar o potencial da análise e da modelagem de dados espaciais para modernização do processo de planejamento de transportes, como desenvolvido em Nóbrega et al (2009).

## 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a modelagem dos corredores, foram formulados três cenários diferentes, conforme tabela 2, variando os pesos determinados na reclassificação das variáveis de entrada durante a 1ª etapa do modelo.

Variável	Pesos		
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Vegetação	7	7	2
Uso antrópico	2	2	2
Áreas urbanas	5	5	5
Declividade (em graus)			
<3	1	1	1
<8	2	4	2
<20	3	6	3
<30	4	9	4
<45	5	9	5
>=45	7	9	7
Distancia de Rodovias			
<0,2	1	1	1
<0,4	2	2	1
>=0,4	3	3	1
Terras Indígenas	9	9	2

Tabela 2. Pesos das variáveis de entrada utilizados nos cenários considerados na modelagem

Obeve-se, desta forma, três superfícies de custo ou fricção, seis superfícies de custo de distância (dois para cada cenário, sendo um para cada ponto, no caso os municípios de Comodoro/MT e Vilhena/RO) e três mapas de corredores ótimos. A Figura 6 apresenta, a título de exemplificação, o resultado do mapa de superfície de custo enquanto que a figura 7 o resultado dos mapas de custo de distâncias, ambas referentes ao cenário 3.

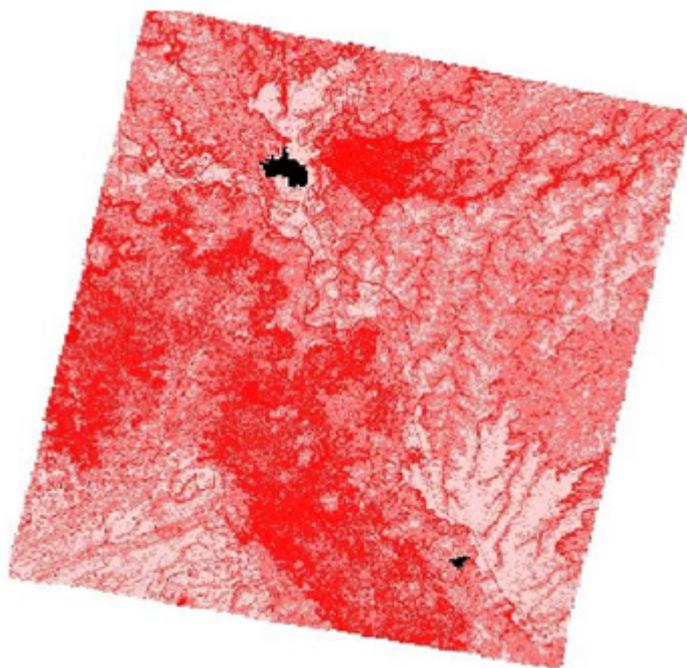


Figura 6. Mapa de custo de superfície resultante da modelagem do cenário 3.

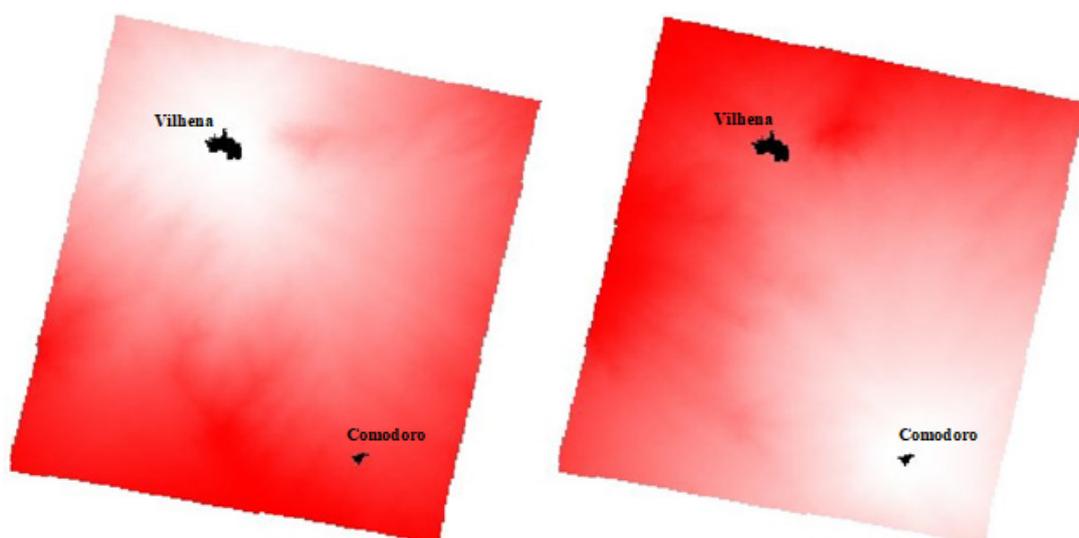


Figura 7. Mapas de custo de distâncias resultante da modelagem do cenário 3. À Esquerda referente ao município de Vilhena/RO e à direita ao município de Comodoro/MT.

As figuras 8 e 9 apresentam os resultados finais da modelagem, ou seja, os corredores ótimos para os cenários desenvolvidos no modelo conforme a tabela 2.

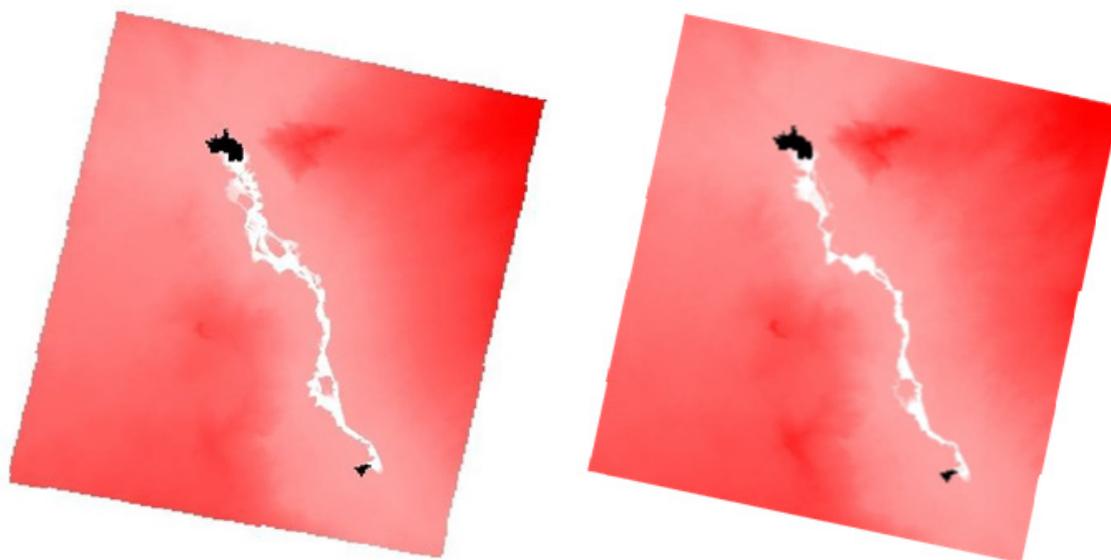


Figura 8. Corredores ótimos resultantes do modelo, cenários 1 (à esquerda) e 2 (à direita).

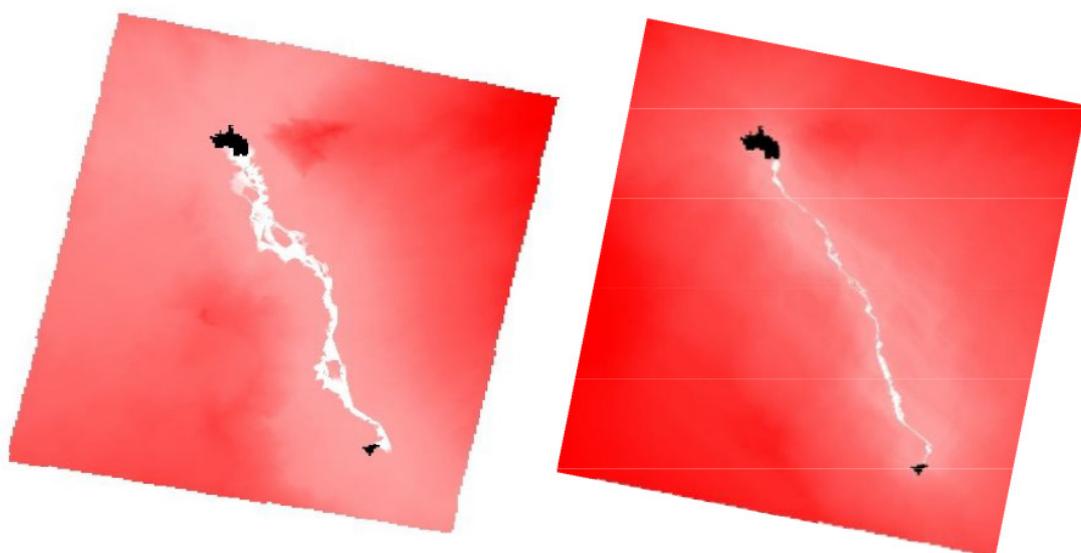


Figura 9. Corredores ótimos resultantes do modelo, cenários 1 (à esquerda) e 3 (à direita).

Comparando os cenários 1 e 2, observa-se a influência da variável declividade, fator de forte importância econômica em projetos ferroviários, no que se diz respeito às técnicas construtivas como também na sua influência no cálculo do tempo de percurso.

Observa-se, comparando os cenários 1 e 3 a relevância das variâncias socioambientais no planejamento dos projetos, de forma que o cenário 3 apresenta um corredor de menor custo mais retilíneo e com menos variância no trajeto, tendo em vista o maior peso considerado para as variáveis vegetação e terra indígena no cenário

1, situação que usualmente é verificado no âmbito do processo de licenciamento ambiental de novas ferrovias.

## 6 | CONCLUSÃO

Entende-se que o objetivo do trabalho foi alcançado, na medida em que foi possível a construção de corredores ótimos para a instalação de um empreendimento ferroviário entre os municípios de Comodoro/MT e Vilhena/RO, por meio da modelagem de dados espaciais.

A modelagem em 3 cenários diferentes, a partir da modificação dos pesos das variáveis de entrada, possibilitou atestar-se a sensibilidade do modelo a mudanças nas condições de contorno pré-estabelecidas.

As variáveis e respectivos pesos utilizados na modelagem tiveram uma função experimental, de modo a permitir a realização dos testes executados no software Dinamica EGO. Tem-se, nesta questão, uma demanda por pesquisas profundas acerca das variáveis e suas respectivas forças de influência em projetos desta tipologia.

De forma complementar, entende-se que mais testes nesta mesma linha de estudo, com uma maior diversidade de variáveis de entrada e pontos de conexão, contribuíram ainda mais para a avaliação desta técnica, a fim de representar de forma mais próxima a realidade dos estudos de planejamento de implantação de empreendimentos ferroviários.

Destaca-se também a potencialidade de utilização do software na modelagem de outras tipologias de empreendimentos lineares como dutos, linhas de transmissão, rodovias, obras de drenagens, entre outros.

## REFERÊNCIAS

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

GRIMSHAW, D. J. **Bringing GIS into business**. 1994.

HOBBS, Benjamin F.; MEIER, Peter. **Energy decisions and the environment: a guide to the use of multicriteria methods**. Springer Science & Business Media, 2012.

JANKOWSKI, Piotr. **Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods**. International journal of geographical information systems, v. 9, n. 3, p. 251-273, 1995.

Lima, C.T.; Lima, G. M. C.; Freitas, Oliveira. M.S.; Soares-Filho. B.; **DINAMICA EGO e Land Change Modeler para simulação de desmatamento na Amazônia brasileira: análise comparativa** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 16., 2013, Foz do Iguaçu., PR. Anais... São José dos Campos: INPE, 2013. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0471.pdf>>. Acesso em: 07 out. 2014.

MAGUIRE, D. J. **An overview and definition of GIS**. Geographical information systems: Principles

and applications, v. 1, p. 9-20, 1991.

MALCZEWSKI, J. **GIS and multicriteria decision analysis**. John Wiley & Sons, 1999.

MALCZEWSKI, J. **GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature**. International Journal of Geographical Information Science, v. 20, n. 7, p. 703-726, 2006.

MCKENNA, Christopher K. **Quantitative methods for public decision making**. McGrawHill College, 1980.

MOURA, Ana Clara Mourão. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. A Autora, 2014.

NOBREGA, R. A. A.; O'HARA, C. **Implementation of MCDM: results of I-269 case study**. In: NCRST - SEPP: May 2009 Memphis Workshop, 2009, Memphis, TN - USA. National Consortium for Remote Sensing and Transportation Annual Meeting, 2009.

Stich, B.; Holland, J. H.; Nóbrega, R. A. A.; O'Hara, C. G. **Using Multi-criteria decision making to highlight stakeholders values in the corridor planning process**. Journal of Transport and Land use, v. 4, p. 105-118, 2011.

VALEC Engenharia, Construções e Ferrovias S. A.. Disponível em: < [http://valec.gov.br/acoes\\_programas/FerroviaTranscontinental.php](http://valec.gov.br/acoes_programas/FerroviaTranscontinental.php)>. Acesso em 20.out.2014

VALEC Engenharia, Construções e Ferrovias S. A.; STE Serviços Técnicos de Engenharia. **EIA/RIMA para implantação da ferrovia EF 354 – Trecho: Uruaçu/GO-Vilhena/RO**. Disponível em < <http://licenciamento.ibama.gov.br/Ferrovias/Ferrovia%20EF%20354%20UruacuGO%20-%20VilhenaRO/EIA/>>. Acesso em 06.nov.2014

## PLANEJAMENTO DE UNIDADES DE GESTÃO DIFERENCIADA EM PROJETO DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL NA AMAZÔNIA

### **Daniel de Almeida Papa**

Universidade de São Paulo - USP/ESALQ  
Piracicaba, São Paulo

### **Evandro Orfanó Figueiredo**

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária –  
Embrapa  
Rio Branco, Acre

### **Alexandre Pansini Camargo**

Universidade de São Paulo - USP/ESALQ  
Piracicaba, São Paulo

### **Luiz Carlos Estraviz Rodriguez**

Universidade de São Paulo - USP/ESALQ  
Piracicaba, São Paulo

**RESUMO:** Entre os métodos de extração madeireira a Exploração de Impacto Reduzido (EIR) é a que traz maiores benefícios financeiros ao produtor e ao meio ambiente principalmente devido ao uso de técnicas de planejamento. A limitação desse método está na forma como é feito o planejamento sistemático, sem o uso de representações do ambiente físico e localização das árvores nas unidades de produção que resulta em um baixo rendimento operacional e maior interferência ao meio ambiente. A proposta deste trabalho é integrar o planejamento florestal considerando a heterogeneidade do ambiente explorado, integrando informações de localização de árvores potenciais com o uso de receptor GNSS, informações altimétricas do terreno

fornecidas por satélite com radar interferométrico e microzoneamento da hidrografia. O inventário florestal de 5992 indivíduos arbóreos foi realizado em uma unidade de produção florestal e seu posicionamento quanto à hidrografia local e áreas de proteção permanente foi anotado em prancheta. Foram gerados mapas de densidade florestal e mapas de volumetria através de ferramentas de processamento de informações geográficas e as informações foram validadas com o Zoneamento Ecológico-Econômico do estado do Acre. O produto final é uma unidade de gestão diferenciada mapeada em categorias de volume de 0 a 60 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, 60,01 a 90 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, 90,01 a 120,00 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> e 120,01 a 150 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, descontando as áreas de proteção ambiental e hidrografia. Adotando informações complementares como informações de volumetria, APPs e zoneamento hidrográfico foi possível gerar unidade de gestão diferenciada de manejo florestal na Amazônia.

**PALAVRAS-CHAVE:** manejo florestal de precisão, sistema de informação geográfica, Modelflora.

**ABSTRACT:** Among the logging methods, the Exploration of Reduced Impact (ERI) is the one that brings most financial benefits to producers and to the environment due to the use of macro and micro forest planning techniques. The limitation of this method is the systematic

techniques to planning the area, using analogic X,Y coordinate to locate trees and streams on the inventory process. With low accuracy to represent the physical environment and location of trees in production units results in a low operating efficiency and higher environmental interference. The purpose of this work is to integrate the forest planning considering environmental heterogeneity, integrating GNSS receiver, radar altimetric data (SRTM) and the hydrographic micro zoning. The study was done in Sena Madureira, state of Acre, Brazil From the inventory of 5.992 trees generated a volume raster and from the stream shape could be possible to construct the permanent protection area (APP). With this both information, using raster calculate processes, were created 4 unites of management areas. Each unit of management has differentiated intensive capacity to receive infrastructure of yard, road and skidtrail. The categories are: 0 to 60 volume  $m^3 \cdot ha^{-1}$ , 60.01 to 90  $m^3 \cdot ha^{-1}$ , 90.01 to 120.00  $m^3 \cdot ha^{-1}$  and 120.01 to 150  $m^3 \cdot ha^{-1}$ , discounting the areas of environmental protection and hydrography. Adopting additional information as volumetry, APPs and hydrographic micro zoning unit differentiated management of forest management in the Amazon.

## 1 | INTRODUÇÃO

O manejo de florestas nativas, como a Amazônia, é em primeiro lugar, uma estratégia de conservação da floresta em pé, pois possibilita o aproveitamento de frutos, sementes, óleo-resina e madeira sem necessidade de substituição da vegetação original. Sob o ponto de vista produtivo, a atividade de manejo florestal depende do licenciamento ambiental exigido pelos órgãos competentes, além de seguir normas e regulamentações que determinam como a atividade deve ser executada. Isso faz com que o Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) - instrumento de planejamento estratégico de longo prazo para a produção sustentada da matéria-prima para a indústria florestal (SABOGAL, 2009) - seja visto, por muitos, como um documento burocrático, a partir do qual se obtém a autorização para explorar a floresta, e não como um documento base para determinar as técnicas de utilização do recurso florestal.

Na história recente da ocupação e uso dos recursos naturais da Amazônia, nota-se que os métodos de exploração adotados foram criados e implementados a partir da quantidade e qualidade das informações disponíveis ao longo do tempo. O primórdio da exploração madeireira na Amazônia ocorreu há aproximadamente 300 anos, pela região estuarina do rio Amazonas. Naquele tempo, as técnicas eram rudimentares e limitadas à necessidade de consumo local para construção de casas e embarcações de madeira. As árvores eram selecionadas e derrubadas no período seco e o transporte só acontecia na cheia dos rios, puxadas pela água. Com o desenvolvimento da malha rodoviária na região centro-sul do Brasil, e motivado por políticas nacionalistas de ocupação do vasto território nacional, a região amazônica passou a ser explorada de forma desordenada, gerando alto impacto na vegetação remanescente. Nesse período foi criado o Código Florestal (1964), que introduziu o conceito de manejo florestal,

mas sem regulamentar a atividade. Somente em 1989 que foi definido o protocolo para exploração da madeira Amazônica, conhecido atualmente como Plano de Manejo Florestal Sustentável

Após duas décadas de exploração de alta intensidade na região sul e leste da Amazônia, foi preciso rever as técnicas de extração para assegurar a manutenção dos recursos florestais para ciclos futuros. Surge então, no início da década de 90, a metodologia de Exploração de Impacto Reduzido (EIR) como alternativa à exploração madeireira convencional feita na Amazônia (IFT, 2011). Nela, as técnicas de uso da floresta são agrupadas em atividades pré-exploratórias, exploratórias e pós-exploratórias (SABOGAL, 2009). No que se refere às atividades pré-exploratórias, a EIR estabeleceu importantes diretrizes para o manejo sustentável da floresta, dentre elas o inventário florestal censitário (100%) e o microzoneamento do relevo e da hidrografia. O primeiro trata-se de uma atividade de medição, avaliação e mapeamento da população de árvores com potencial comercial por meio de coordenadas x,y. O segundo se refere ao mapeamento das características topográficas e hidrográficas relevantes da área. O uso de técnicas de EIR representou redução do impacto sobre a floresta e também aumento de renda líquida média de 19% (IFT, 2011) devido melhoria na eficiência das operações executadas a partir de um planejamento prévio. As técnicas de EIR foram, aos poucos, sendo incorporadas às normativas que regulamentam a elaboração dos Planos de Manejo e assim, passaram a ser adotadas obrigatoriamente por empresas do setor florestal na primeira década dos anos 2000.

Entretanto, o planejamento sistemático proposto pelas técnicas de EIR tem limitações quando implementado em áreas com alta variação topográfica e vasta rede de cursos d'água e igarapés, pois utiliza-se de uma grade cartesiana analógica para mapear árvores e demais características da paisagem florestal, como relevo e hidrografia. Como consequência, a representação da realidade florestal em um plano cartesiano (papel milimetrado) pode gerar erros de localização de árvores, por exemplo, de até 30 metros (FIGUEIREDO et al., 2008) quando comparado com a localização verdadeira (em campo). O mesmo é feito com o mapeamento da topografia, que no planejamento sistemático é literalmente desenhada junto com o traçado dos igarapés em folhas de papel milimetrado, para depois serem digitalizadas para uso no planejamento da infraestrutura de exploração.

Com o avanço das geotecnologias na última década, em especial, o crescimento do Sistema Global de Posicionamento por Satélite (GNSS – sigla em inglês para *Global Navigation Satellite System*) e a melhoria da qualidade e acesso aos receptores GNSS, houve o aperfeiçoamento das técnicas de EIR para uma nova geração do planejamento florestal na Amazônia: o Manejo Florestal de Precisão, que tem as seguintes características: (i) as árvores são mapeadas utilizando-se coordenadas geográficas, com precisão de aproximadamente 3 metros; (ii) o microzoneamento do relevo é feito com uso de imagens de radar com resolução de 30 x 30 metros; (iii) o mapeamento dos cursos d'água é feito com receptor GNSS em campo; (iv) as árvores

localizadas na área de preservação permanente (APP) são mapeada com 98,7% de precisão (FIGUEIREDO et al., 2010); (v) o planejamento dos pátios é feito em função da localização do volume autorizado para corte; (vi) as estradas são construídas em áreas mais acessíveis e distantes da APP; (vii) a locação de pátios é calculada (distância ótima entre pátios) e varia conforme a floresta; (viii) o monitoramento da execução do plano de manejo é diário e de alta precisão; (ix) existe alta compatibilidade do que é planejado no escritório com o que é executado em campo e; (x) a área aberta para instalação da infraestrutura é, em geral, menor que aquele feito no planejamento sistemático.

Neste sentido, o objetivo com essa publicação é descrever e apresentar o método de planejamento florestal por unidades de gestão diferenciada que considere a heterogeneidade espacial da paisagem mapeada a partir de coordenadas geográficas coletadas com receptor GNSS, imagens de radar e processamento em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (Figura 01).



Figura 01: Etapas de planejamento do manejo florestal com uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG).

## 2 | METODOLOGIA DE TRABALHO

### 2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na fazenda Guarujá, localizada no município de Sena Madureira, no estado do Acre. A propriedade tem área total de 2.837 hectares, sendo 941 hectares de área desmatada e 1.896 hectares de reserva legal. A área de reserva legal foi dividida em cinco Unidades de Produção Anual (UPAs), sendo a UPA 04, com 382 hectares, alvo deste trabalho (Figura 2). O trabalho de campo foi realizado entre

os meses de setembro e outubro de 2008.

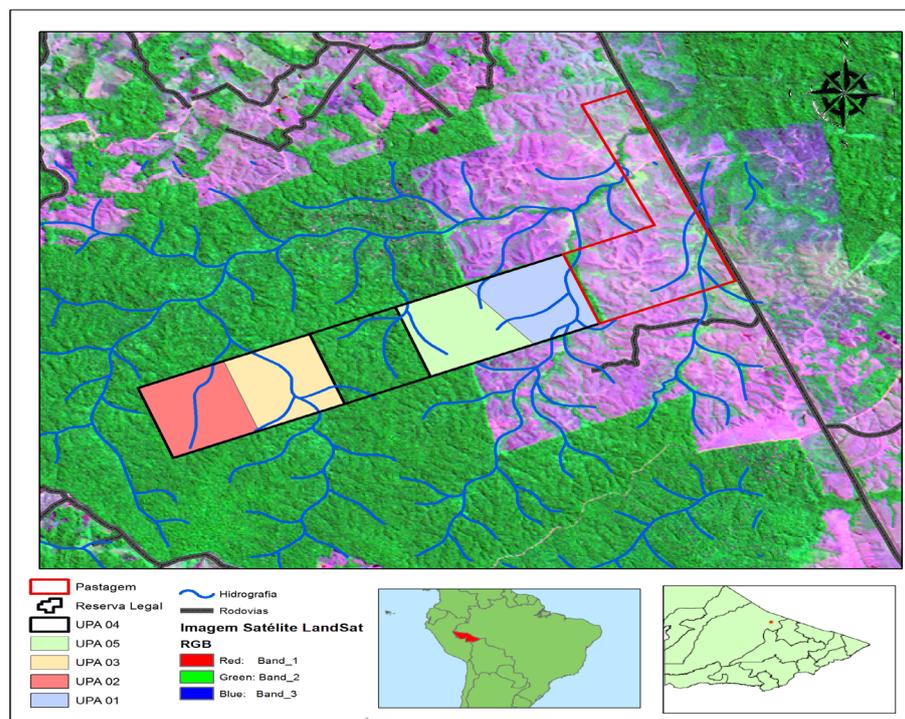


Figura 2. Mapa de localização da área de estudo.

## 2.2 Coleta de dados

A equipe de campo foi composta por cinco operários, sendo um identificador botânico, um fixador de placas, um tomador de medidas (altura e circunferência das árvores), um operador de receptor GPS e um anotador para a realização do inventário censitário. Para o microzoneamento da hidrografia, foram necessários dois operários, um para manuseio do receptor GPS e outro de apoio. Todos os dados coletados foram processados em softwares especializados de geoprocessamento, utilizando-se do sistema de coordenadas UTM e sistema de referência Datum SAD 69.

### 2.2.1 Inventário florestal com receptor GNSS

O mapeamento das árvores seguiu metodologia do Modelo Digital de Exploração Florestal – Modeflora (FIGUEIREDO et al., 2007) (Figura 3). Foram levantados todas os indivíduos com diâmetro maior ou igual à 35 cm medidos à 1,30 metro de altura. Cada indivíduo inventariado teve sua localização geográfica (ponto) obtida com receptor GPSMAP 76 Csx (GARMIN, 2007), código C/A, além do registro do nome popular da espécie, qualidade do fuste, altura comercial e número da placa de identificação. O procedimento para apropriação da coordenada geográfica foi de costas para a árvore, com o receptor na vertical para obter melhor qualidade do sinal da constelação de satélites (Figura 3a).



Figura 3: (a) Mapeamento das árvores de interesse com uso de receptor GPS de alta sensibilidade; (b) registro das informações de diâmetro, altura, espécie, qualidade do fuste, número da placa e número do GPS de cada indivíduo; (c) transferência dos pontos do receptor para o computador.

### 2.2.2 Microzoneamento com receptor GNSS e imagem de radar

O microzoneamento da hidrografia da UPA 04 foi feito com o caminhamento às margens dos cursos d'água e registro do trajeto pelo receptor GPSMAP 76 Csx em forma de vetor de linha (*tracking*) (FIGUEIREDO et al., 2010). Durante o mapeamento da rede hidrográfica foi registrada a largura da calha dos rios e coleta de pontos de localização geográfica de nascentes (Figura 4).



Figura 4: (a) Mapeamento de nascentes; (b) mapeamento dos cursos d'água com uso do receptor GPS de alta sensibilidade; (c) arquivo do receptor GPS com linhas e pontos representando igarapés e nascentes, respectivamente.

O microzoneamento da topografia do terreno da UPA 04 foi obtido a partir de imagens de radar do programa SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission* - Missão Topográfica por Radar Interferométrico). A partir da imagem SRTM foram produzidas a curvas de nível, áreas de acesso restrito, APP de declividade e modelo digital da superfície (Figura 5). Esses dados formam o banco de dados necessários para o planejamento da infraestrutura de exploração (Figura 6) (PAPA e FIGUEIREDO, 2011).

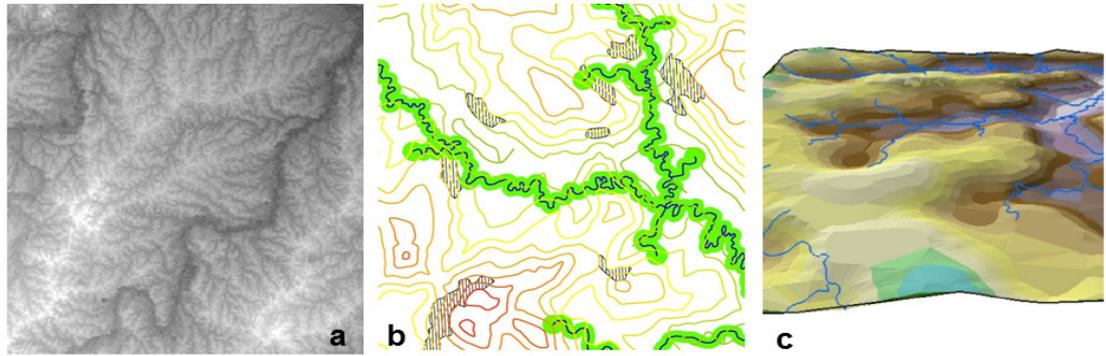


Figura 5: (a) Imagem SRTM com resolução de 90 x 90 metros; (b) curvas de nível, áreas de declividade e APP da área de estudo; (c) modelo digital da superfície do terreno com sobreposição do vetor de linhas do igarapé.

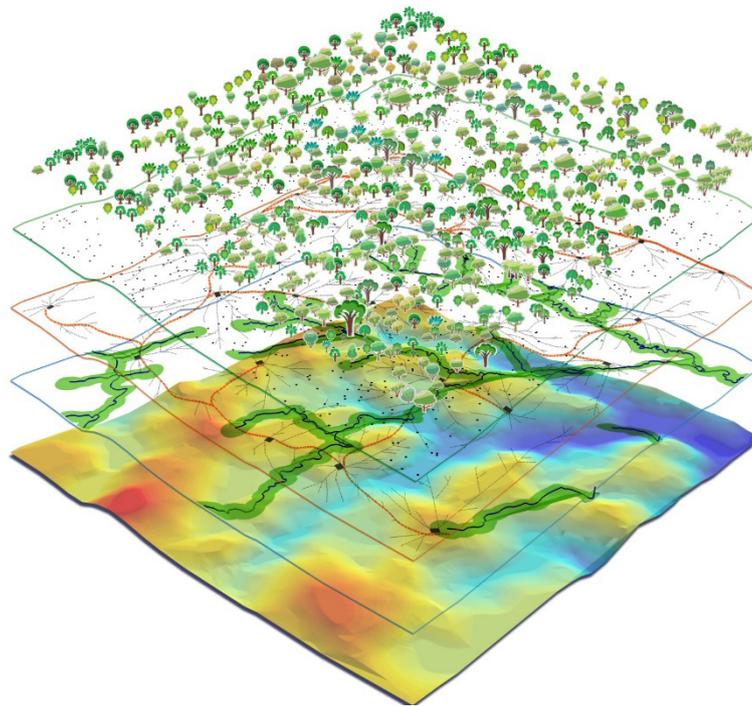


Figura 6: Camadas de dados para análise elaboração de projetos de manejo florestal de precisão em ambiente SIG.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram mapeados 5.992 indivíduos arbóreos na UPA 04, resultando em uma densidade espacial média de 15,6 árvores/hectare. A partir dos pontos registrados para cada árvore foram obtidos os mapas de densidade florestal e volumetria (Figura 7).

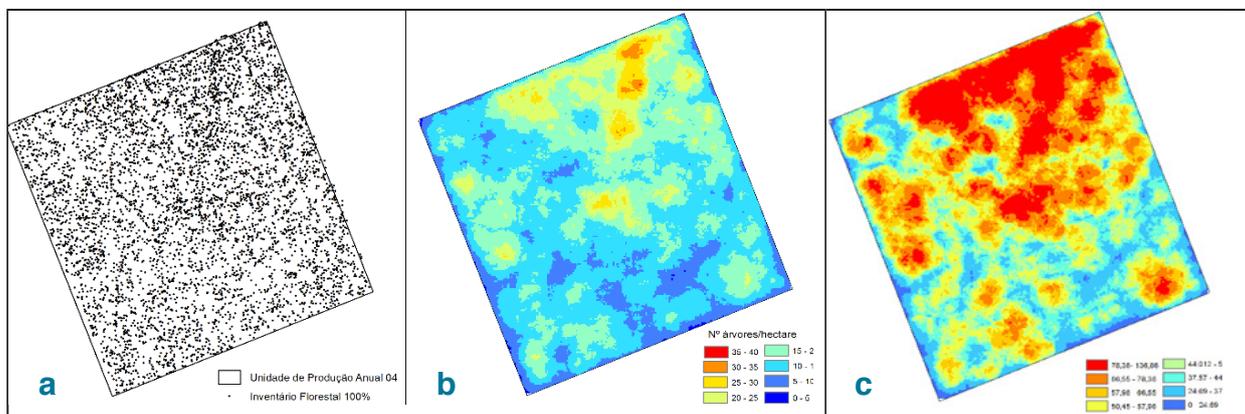


Figura 7: (a) Localização das árvores na UPA 04; b) mapa de densidade florestal na UPA 04 e; c) mapa de volumetria na UPA 04.

Nota-se nos mapas da Figura 7 uma concentração maior de indivíduos arbóreos na região norte da UPA 04, e conseqüentemente, altos valores de densidade (número árvores/ha) e volumetria ( $m^3/ha$ ).

Para gerar o microzoneamento da hidrografia com uso do receptor GPS foram percorridos 14,5 quilômetros às margens dos principais cursos d'água da UPA 04. A partir do *tracking* do receptor GPS foram gerados três arquivos *shapefiles*, sendo um a rede de drenagem (linha), os pontos de nascente e a Área de Preservação Permanente - APP (polígono). Imagens SRTM, barométrica e arquivos do ZEE (ACRE, 2006) foram usados para validar os dados de campo em ambiente SIG. Com a informação de altitude dos pontos coletados no inventário florestal e no microzoneamento da hidrografia foi possível gerar uma imagem da superfície do terreno com resolução de 10 metros, imagem barométrica (Figura 8).

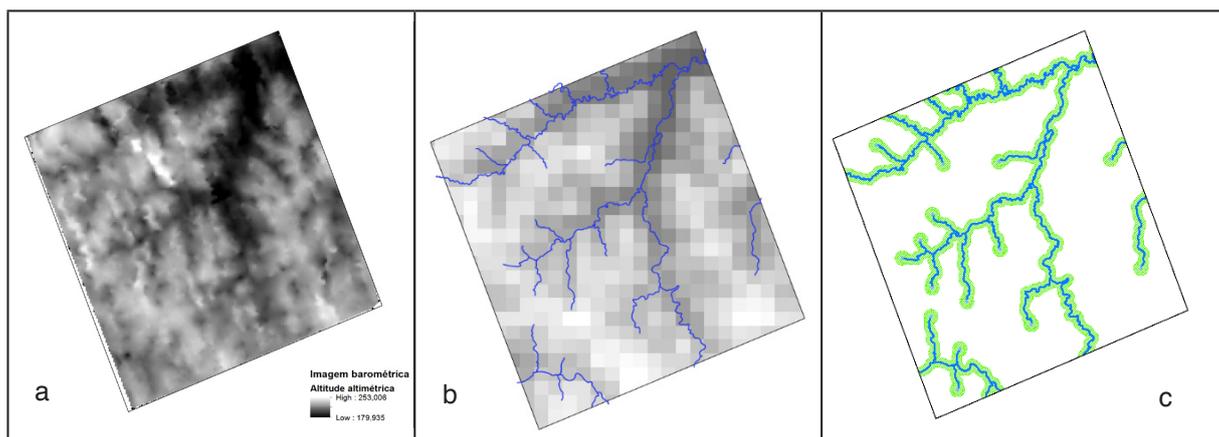


Figura 8: (a) Imagem barométrica gerada a partir da altitude coletada pelo receptor GPS; b) microzoneamento da hidrografia com receptor GPS sobre a imagem SRTM; c) área de preservação permanente – APP de igarapés e nascentes.

O mapeamento dos cursos d'água (Figura 8b) mostrou-se bem realizado ao compará-lo com as imagens da topografia do terreno geradas pelo sensor barométrico do receptor GPS (Figura 8a) e imagem SRTM (Figura 8b). A área total ocupada por APP foi de 90 hectares, o que representou 23,5% da área total da UPA 04. O *buffer* da

APP foi feito com uma margem lateral de 35 metros para cada lado do vetor de linha e 50 metros de raio para o vetor nascente.

Ao analisar a densidade de indivíduos e o microzoneamento da hidrografia, nota-se que existe, para a UPA 04 da Fazenda Guarujá, uma forte influência da topografia do terreno na densidade e volumetria de árvores inventariadas no censo. A variação da estrutura horizontal da floresta (abundância e área basal) em função da topografia é uma das causas sugeridas por estudos de diversidade de ambientes na região amazônica, juntamente com características edáficas e dinâmica florestal, e variáveis de precipitação, temperatura e umidade. (GAMA, et al., 2005; CONDE e TONINI, 2013; SILVA et al., 2015; SOUZA e SOUZA, 2004; FIGUEIREDO, et al., 2015).

### 3.1 Unidade de Gestão Diferenciada

Para a delimitação das Unidades de Gestão Diferenciada, foram utilizados os planos de informação referente a densidade de indivíduos por hectare, mapeamento da hidrografia e modelo digital de superfície. A imagem *raster* de volumetria foi reclassificada em 4 zonas e a área de APP foi retirada das unidades de manejo por se tratar de áreas protegidas por lei, onde a extração de árvores é proibida (Figura 9a).

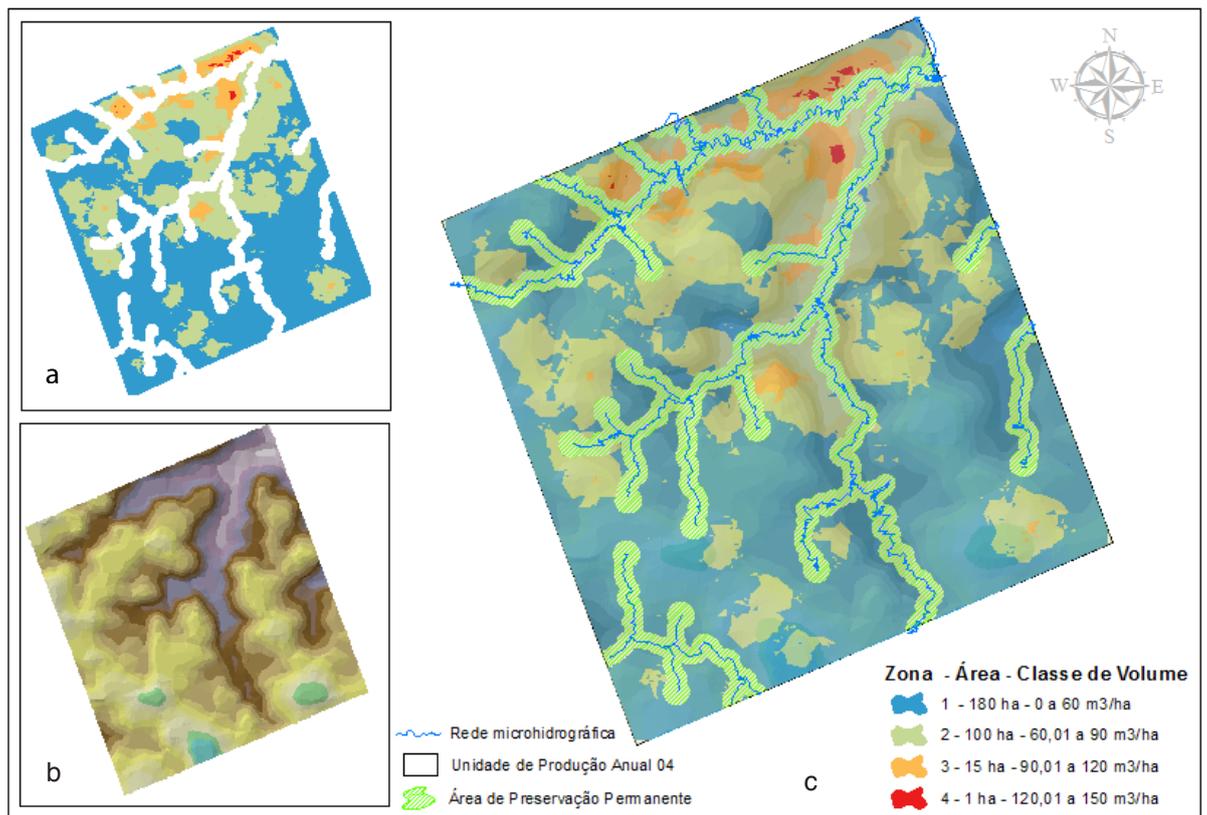


Figura 9: (a) Imagem de volumetria reclassificada e sem influência da APP; (b) modelo digital de superfície gerado a partir da imagem SRTM e; (c) proposta de Unidades de Gestão Diferenciada (Zonas) para planejamento da infraestrutura de exploração da UPA 04.

As Unidades 3 e 4 possuem maior concentração volumétrica por hectare e estão localizadas próximas às áreas de APP, isto é, nas regiões de menor altitude do talhão

(norte do mapa). Elas representaram juntas apenas 5,5% da área total da UPA e estão localizadas em regiões de alta fragilidade ambiental. Quanto à infraestrutura de exploração nestas zonas (Tabela 01), deve-se ter cautela, pois sofrem influência da APP, possuem relevo mais acidentado e são suscetíveis ao encharcamento. Os pátios devem ser instalados, sempre que possível, próximo da zona 3 e 4 para obter alta eficiência nas operações florestais em função da menor distância de arraste e alta concentração volumétrica, porém deve-se evitar relevo acidentado e manter distância da APP.

m	Área (%)	VOLUME (m <sup>3</sup> /ha)	Altitude	APP	Topografia	Manejo
01	62	0 – 60	Alta	Nascentes	Divisores de bacia	Estradas principais
02	34	60 – 90	Média	Igarapé raso	Levemente ondulado	Estradas secundárias Pátios e trilhas
03	3,65	90 – 120	Baixa	Igarapé profundo	Declive	Estrada secundária Pátio e trilhas
04	0,35	120 - 150	Baixa	Igarapé profundo	Acidentado	Pátios e trilhas

Tabela 01: Estratégia de planejamento da infraestrutura para cada uma das zonas definidas na Unidade de Gestão Diferenciada.

A Unidade 2 representou 34% da área total da proposta de Unidade de Gestão Diferenciada, e pode receber maior quantidade de pátios de estocagem por estar localizada em áreas mais afastadas da APP e em locais com relevo levemente ondulado à plano, além de conter densidade volumétrica superior à média da UPA, que é 60 m<sup>3</sup>/ha. A Unidade 1 é responsável por 62% da área total da UPA 04 e concentra-se na parte sul do talhão, região mais alta, onde concentram-se maior parte das nascentes. Nesta zona recomenda-se vasta infraestrutura de estradas traçadas pelos divisores de água, para acessar as unidades 2, 3 e 4 e a instalação de pátios de estocagem mais afastados entre si que nas demais unidades.

#### 4 | CONCLUSÕES

O uso integrado do SIG no manejo florestal da Amazônia proporciona o aperfeiçoamento das técnicas de exploração, com menor impacto sobre a floresta e maior rendimento nas etapas de inventário, microplanejamento e abertura de pátios, estradas e trilhas.

Com as informações de volumetria e área de preservação permanente foi possível gerar Unidades de Gestão Diferenciada em uma área de manejo florestal na Amazônia. A topografia do terreno influenciou a densidade volumétrica na UPA 04 e deve ser considerada para instalação da infraestrutura de exploração florestal. As imagens SRTM e barométrica foram importantes para avaliar a qualidade do microzoneamento feito com uso do receptor GNSS.

## 5 | AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Acre, pelo fornecimento da base de dados para a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

ACRE. Governo do Estado do Acre. **Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre. Zoneamento ecológico-econômico.** 2006.

CONDÉ, T. M.; TONINI, H. F. **Fitossociologia de uma Floresta Ombrófila Densa na Amazônia Setentrional, Roraima, Brasil.** Acta Amazonica, v. 43(3), p. 247-260, 2013.

FIGUEIREDO, E.O.; BRAZ, E.M.; D'OLIVEIRA, M.V.N.; CUNHA, R.M. **Processamento Primário dos Dados e Elaboração do Mapa de Exploração.** In: Figueiredo, E.O.; Braz, M.E.; d'Oliveira, M.V.N. (Org.). Manejo de Precisão em Florestas Tropicais: Modelo Digital de Exploração Florestal. 1ed. Rio Branco: Embrapa Acre, 2007 a. v. 1, p. 121-145.

FIGUEIREDO, S. M. de M.; VENTICINQUE, E. M.; FIGUEIREDO, E. O.; FERREIRA, E.J. L. **Predição da distribuição de espécies florestais usando variáveis topográficas e de índice de vegetação no leste do Acre, Brasil.** Acta Amazonica, v. 45(2), p. 167 – 174, 2015.

FIGUEIRDO, E.O.; CUNHA, R.M. **Levantamento das Árvores com Coordenadas Apropriadas com GPS de Alta Sensibilidade.** In: Figueiredo, E.O.; Braz, M.E.; d'Oliveira, M.V.N. (Org.). Manejo de Precisão em Florestas Tropicais: Modelo Digital de Exploração Florestal. 1ed. Rio Branco: Embrapa Acre, 2007. v. 1, p. 101-118.

FIGUEIREDO, E.O.; LIMA, Q.S. **Coefficientes Técnicos para o Inventário e Manejo Florestal com Emprego do Modelo Digital de Exploração Florestal (Modelflora).** Rio Branco: Embrapa, 2008 (Comunicado Técnico).

FIGUEIREDO, E.O.; MOURA, D.C.S. ; FIGUEIREDO, S.M.DE M.; PAPA, D. A. . **Modelagem da Hidrografia em Planos de Manejo e Critérios para Definição de Árvores em APP pelo Modelflora.** Rio Branco: Embrapa Acre, 2010 a (Comunicado Técnico).

GAMA, J.R.V., SOUZA, A.L., MARTINS, A.L.S.S.V., SOUZA, D.R. **Comparação entre florestas de várzea e de terra firme do Estado do Pará.** R. Árvore, Viçosa-MG, v.29, n.4, p.607-616, 2005.

GARMIN. **GPSMAP 76 Cx Sif Star**, 2007. Disponível em: <<http://www.garmin.com/products/gpsmap76cx/>>

IFT - Instituto Floresta Tropical, **Manejo de florestas naturais da Amazônia: corte, traçamento e segurança** / Marlei M. Nogueira; Valderez Vieira; Arivaldo de Souza; Marco W. Lentini. – Belém, PA: IFT, 2011.

PAPA, D.A; FIGUEIREDO, E.O.; **Modelflora – Manejo Florestal de Exploração Florestal.** Folder. Embrapa Acre, 2011.

SABOGAL, C. **Diretrizes técnicas de manejo para produção madeireira mecanizada em florestas de terra firme na Amazônia brasileira.** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2009.

SILVA, K. E, SOUZA, C. R., AZEVEDO, C. P. e ROSSI, L. M. B. **Dinâmica florestal, estoque de carbono e fitossociologia de uma floresta densa de terra-firme na Amazônia Central.** Scientia. Forestalis., Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 193-201, mar. 2015.

SOUZA, D. R.; SOUZA, Agostinho Lopes. **Estratificação Vertical em Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme não Explorada, Amazônia Central**. Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v.28, n.5, p.691-698, 2004.

## RELAÇÃO ENTRE RESPOSTA ESPECTRAL, BIOMASSA E ESTOQUE DE CARBONO EM OCORRÊNCIAS DE CERRADO NA PORÇÃO MINEIRA DA BACIA DO RIO PARDO: ESTUDO PRELIMINAR

### **Ronaldo Medeiros dos Santos**

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais –  
IFNMG, Campus Salinas  
Salinas – Minas Gerais

### **Vinicius Orlandi Barbosa Lima**

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais –  
IFNMG, Campus Salinas  
Salinas – Minas Gerais

### **Marcelo Rossi Vicente**

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais –  
IFNMG, Campus Salinas  
Salinas – Minas Gerais

### **Talita Moreira Câmara**

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais –  
IFNMG, Campus Salinas  
Salinas – Minas Gerais

### **Cecília Cristina Almeida Mendes**

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais –  
IFNMG, Campus Salinas  
Salinas – Minas Gerais

### **Diana Marques Silva**

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais –  
IFNMG, Campus Salinas  
Salinas – Minas Gerais

### **Gesiane Simara Barbosa**

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais –  
IFNMG, Campus Salinas  
Salinas – Minas Gerais

naturais é um elemento chave em estudos de ciclagem de nutrientes e do papel das florestas no clima. No Brasil, nem todas as formações foram devidamente estudadas, e os métodos tradicionais de mensuração florestal não contribuem nesse sentido. Como solução, a utilização do sensoriamento remoto aliado aos métodos tradicionais tem obtido sucesso e se apresenta como uma promissora alternativa. Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a relação entre resposta espectral, biomassa e estoque de carbono em formações de cerrado na porção mineira da bacia do rio Pardo. A metodologia compreendeu campanhas de inventário e mensuração florestal, para a estimação do estoque de biomassa e carbono, e processamento digital de imagens orbitais e de planilhas eletrônicas, para a geração de índices de vegetação e construção de modelos das variáveis em questão em função do NDVI. Foi observada uma forte relação entre o NDVI e os estoques de biomassa e carbono e o ajuste dos modelos testados foi considerado satisfatório, com  $R^2$  de 0,8168 para biomassa e de 0,8215 para carbono. Observou-se que a maior parte da área de estudos se encontra com baixos estoques das variáveis estudadas, revelando os problemas ambientais da região e apontando oportunidades em geração de créditos de carbono via projetos florestais.

**PALAVRAS-CHAVE:** sensoriamento remoto,

**RESUMO:** A quantificação dos estoques de biomassa e carbono em coberturas vegetais

NDVI, produtividade primária, mensuração florestal.

**ABSTRACT:** Biomass and carbon stocks quantifications in natural plant cover is a key element in researches about nutrient cycling and the role of forests in the climate. In Brazil, not all formations were properly studied, as the “Cerrado” and its existing forms in the northern region of Minas Gerais, and the forest measurements traditional methods do contribute hardly anything, for being expensive and have a limited spatial application. As a solution, the utilization of remote sensing associated with traditional methods have been obtaining success and making itself as a promising alternative. Therefore, the objective of the present work was to evaluate the relationship between spectral response, biomass and carbon stock in “Cerrado” formations in the northern region of Rio Pardo watershed. The methodology consisted in forest inventory and measurement campaigns for estimating biomass and carbon stock, digital processing of orbital images and computer spreadsheets, for the generation of vegetation index and the building of models of the variables factors involved according to NDVI. It was noted strong relation between NDVI and biomass and carbon stocks, the adjustment of the tested models was considered satisfactory, with  $R^2$  of 0.8168 for biomass and 0.8215 for carbon. It was observed that most parts of the studied area was with low stocks of the studied variables, showing the environmental problems of the region and indicating the generation of carbon credits opportunities through forestry projects.

**KEYWORDS:** remote sensing, NDVI, primary productivity, forest measurement.

## 1 | INTRODUÇÃO

Pesquisas das últimas décadas indicam que a temperatura média do planeta sofreu uma elevação da ordem de  $0,6^{\circ}\text{C}$  no século XX. A causa desse aquecimento é atribuída à intensificação do efeito estufa, ocasionada, por sua vez, pelo aumento das emissões antrópicas de alguns compostos químicos, dentre os quais figura como principal o dióxido de carbono -  $\text{CO}_2$  (SCARPINELLA, 2002). Segundo Silva (2007) e Juras (2009), as conseqüências econômicas, sociais e ambientais desse processo são alarmantes, passando pela regressão das calotas polares e aumento do nível dos oceanos, maior incidência de eventos climáticos extremos, como secas e inundações, deslocamento de populações, escassez de alimentos, extinção de espécies e proliferação de vetores e de doenças, dentre outras.

Diante de tal cenário, iniciaram-se discussões globais acerca do problema e de como enfrentá-lo. O marco principal dessas discussões é a Conferência das Partes no 3 – COP 3, da Convenção-Quadro das Nações Unidas para Mudanças Climáticas, ocorrida em Kyoto, no Japão, em 1997. O resultado da referida conferência foi a proposição de um protocolo, por meio do qual os países signatários assumiriam responsabilidades e compromissos, no sentido de reduzir ou compensar as emissões dos chamados Gases de Efeito Estufa - GEE's.

Alguns desses compromissos são passíveis de compensações financeiras,

como projetos de florestamento e reflorestamento de áreas originalmente cobertas por florestas, com espécies nativas do local. No entanto, para que esse tipo de projeto tenha efetividade no seqüestro de carbono e na captação de recursos financeiros, é necessário o conhecimento do estoque atual de biomassa e de carbono, assim como também é necessário estimar a dinâmica e o potencial total de seqüestro de carbono da iniciativa a ser proposta (KUNTSCHIK, 2004).

A quantificação da biomassa e do carbono estocados nas partes aéreas da vegetação é tradicionalmente efetuada por meio de métodos destrutivos ou via aplicação de modelos alométricos. No entanto, tais métodos têm como desvantagem o fato de serem considerados onerosos e de demandarem grandes esforços para a sua aplicação, sobretudo quando se deseja estudar áreas de grande envergadura espacial (CASSOL, 2013). Nesse sentido, uma promissora alternativa metodológica consiste na proposição de modelos empíricos e estatísticos, que relacionam estimativas amostrais de campo à resposta espectral e/ou índices derivados de imagens orbitais, como os índices de vegetação. Tais abordagens, inclusive, têm sido estimuladas no âmbito de ações globais de estudos sobre o clima e aquecimento global (CELES et al., 2013).

Segundo Cassol (2013), a aplicação do sensoriamento remoto na obtenção de estimativas de biomassa e carbono pode resultar em menor custo e consumo de tempo, e apresenta vantagens em relação aos métodos tradicionais, no que diz respeito a estudos de natureza espacial. O princípio no qual se baseia a aplicabilidade da referida ferramenta ao objeto em questão está no fato de que características relacionadas à composição, volume e estrutura da vegetação são passíveis de detecção em imagens de satélite (PONZONI e SHIMABUKURO, 2007). Como essas características resultam em comportamentos espectrais distintos, podem ser relacionadas a estimativas de campo, obtidas por amostragem, gerando modelos práticos e utilizáveis tanto para outras localidades, quanto para outros períodos de tempo. Celes et al. (2013), Matos e Kirchner (2008), e Bolfe et al. (2009) comprovaram tal afirmação, ao encontrar alta correlação entre estoque de biomassa e índices de vegetação derivados de imagens de satélite.

Embora estudos de quantificação de biomassa sejam relativamente comuns, e executados há décadas, poucas áreas, em termos de superfície e de biomas, foram estudadas até o presente momento. É o caso do Cerrado brasileiro, especialmente as suas variações que ocorrem na porção norte do Estado de Minas Gerais, como na bacia do rio Pardo. Trata-se de uma região onde áreas naturais do referido bioma se encontram sob pressão e sob diferentes estados ou níveis de antropização (OLIVEIRA et al., 2014; SALIS et al., 2014), motivo pelo qual estudos dessa natureza contribuiriam, em muito, ao diagnóstico ambiental e à compreensão da dinâmica de uma série de processos, como degradação ambiental, regeneração florestal e seqüestro de carbono atmosférico por florestas.

Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a relação entre resposta espectral, biomassa e estoque de carbono em formações de cerrado na

porção mineira da bacia do rio Pardo.

## 2 | METODOLOGIA DE TRABALHO

A área de estudo abrangeu a porção mineira da bacia do Rio Pardo, localizada na região norte do Estado de Minas Gerais, conforme ilustrado na Figura 1. Compreende uma superfície de aproximadamente 12.700 km<sup>2</sup>, situada entre os paralelos 15° e 16° de latitude sul e entre os meridianos 41° e 43° a oeste de Greenwich.

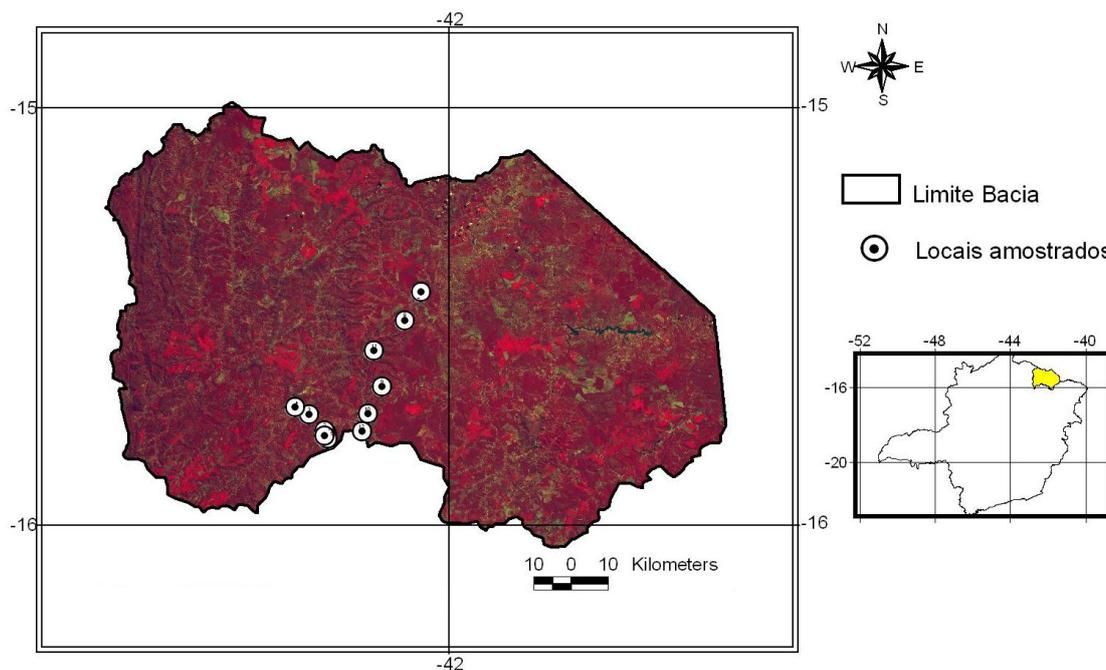


Figura 1. Localização da área de estudos e das parcelas experimentais.

O clima na região é de transição entre Cerrado e Caatinga, variando de sub-úmido a semi-árido, classificado majoritariamente, segundo Köppen, como sendo Aw, de inverno seco e verão chuvoso. A cobertura vegetal natural é típica de cerrado, com ocorrência de fitofisionomias de transição caatinga/cerrado, florestas subcaducifólias e caducifólias, caatinga hiperxerófila e formações rupestres (TOLEDO et al., 2009). Com relação aos solos, a classe predominante é a dos latossolos vermelho-amarelos, com pequenas ocorrências de cambissolos, podzólicos vermelho-amarelos, solos aluviais e solos litólicos (AMARAL et al., 2004).

O material consistiu em uma cena multiespectral do satélite LANDSAT-8, com resolução espacial de 30 metros, um receptor GNSS do tipo “navegação” e equipamentos de mensuração florestal de campo (fita métrica e hipsômetro). Para o processamento dos dados, foram utilizados os softwares IDRISI, versão Andes (licença gratuita) e o Microsoft Excel 2003. A metodologia compreendeu campanhas de inventário e mensuração florestal, para a estimacão do estoque de biomassa e carbono em ocorrências de cerrado na área de estudos, e processamento digital de

imagens orbitais e de planilhas eletrônicas, para a geração de índices de vegetação e construção de modelos para a estimativa das variáveis em questão. Nos itens que se seguem, encontram-se detalhados os referidos passos metodológicos.

## 2.1. Estimativa do estoque de biomassa vegetal aérea e de carbono

Nessa etapa, foram realizadas incursões a campo para a execução de um inventário florestal. Ao longo da área de estudos, foram lançadas 12 parcelas amostrais, distribuídas espacialmente e alocadas de modo aleatório, contemplando três principais classes de estoque de biomassa e carbono (quatro parcelas por classe): (1) cerrado degradado em estágio inicial de regeneração; (2) cerrado degradado em estado intermediário de regeneração; e (3) cerrado conservado ou em estado final de regeneração. Em cada parcela, foram tomadas medidas de diâmetro e altura. Nas parcelas referentes às classes “2” e “3” os diâmetros foram medidos à altura de 1,30m (DAP), enquanto que nas parcelas de classe “1”, o diâmetro foi medido à 0,30 m do solo, contemplando todos os indivíduos lenhosos com diâmetro superior a 3 cm. As parcelas de campo foram georreferenciadas, utilizando-se um receptor GNSS.

Em escritório, o processamento dos dados alométricos foi realizado utilizando-se o software Excel. A partir dos dados de diâmetro e altura, foram estimados os estoques de biomassa e carbono, em toneladas/hectare, aplicando-se modelos gerados a partir de estimativas médias obtidas para as diversas fitofisionomias do bioma Cerrado no inventário florestal de Minas Gerais, de Scolforo et al. (2008), apresentados por meio das equações 1 e 2, respectivamente.

$$\ln(PS) = -10,1024202605 + 2,4038079403 * \ln(DAP) + 0,479410187 * \ln(H) \quad (1)$$

$$\ln(C) = -10,4348254429 + 2,3336448412 * \ln(DAP) + 0,3837314228 * \ln(H) \quad (2)$$

onde: PS = peso seco/biomassa (toneladas); C = carbono (toneladas);  
DAP = diâmetro a altura do peito (m); H = altura total (m).

## 2.2. Geração de modelos “biomassa e carbono x resposta espectral”

A primeira parte dessa etapa compreendeu a seleção de imagens de satélite, com vistas à geração de índices de vegetação. Foram utilizadas cenas do Landsat 8 – TM, com resolução espacial de 30 metros, com mínima cobertura de nuvens e datas de captura coincidente à dos trabalhos de campo. Como a área de estudo encontra-se dividida entre duas cenas Landsat, foi necessário confeccionar um mosaico, utilizando as imagens parciais e o software Idrisi. A operação foi executada para cada banda e a partir dos canais vermelho e infravermelho próximo, foi gerado um mapa de Índice de Vegetação da Diferença Normalizada – NDVI, conforme equação apresentada em Ponzoni e Shimabukuro (2007).

As estimativas amostrais georreferenciadas de biomassa e carbono foram então “cruzadas” espacialmente com a informação espectral expressa por meio do NDVI.

Neste caso, considerou-se o NDVI médio do pixel coincidente à localização da parcela de campo e dos oito pixels vizinhos, a fim de se evitar erros advindos da acurácia espacial da imagem e das coordenadas rastreadas das parcelas. A partir dessa interseção espacial, foram construídas as séries dicotômicas “Biomassa (massa/ unidade de área)” x “NDVI” e “Carbono (massa/unidade de área)” x “NDVI”, a partir das quais foram testados ajustes de modelos, nos quais Biomassa e Carbono foram definidos como variável dependente do NDVI. Este procedimento foi executado com o auxílio do software Excel 2010.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados alométricos medidos em campo no trabalho de inventário florestal e das equações apresentadas na seção anterior, foram obtidos os valores médios de Biomassa e Carbono para cada classe de Cerrado considerada no presente trabalho (Tabela 1).

Classe de Cerrado	Biomassa(T/ha)	Carbono(T/ha)
1	1.0567	0.6433
2	12.6648	6.7561
3	62.6133	30.7709

Tabela 1. Estimativa de biomassa e carbono por classe Cerrado na bacia do Rio Pardo/MG.

Os valores médios de biomassa e estoque de carbono situaram-se dentro das faixas encontradas por Scolforo et al. (2008), para o Cerrado Stricto Sensu no inventário florestal de Minas Gerais. A produtividade encontrada para a classe 3 ficou acima da média estadual e se aproximou dos fragmentos de maior estoque, representando remanescentes conservados em estado avançado de regeneração florestal. A classe 1 apresentou média inferior aos campos cerrados, apresentando indivíduos mais jovens, o que pode estar associado à intervenções recentes nas áreas amostradas desta classe. Na Figura 2, encontra-se ilustrado o aspecto geral, in situ, das três classes amostradas.

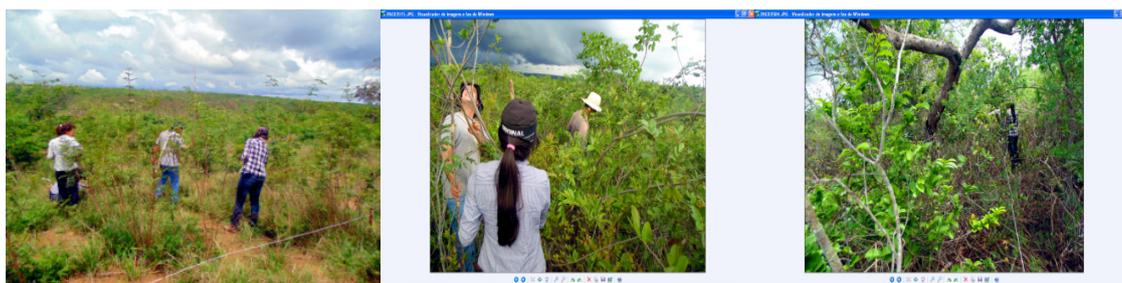


Figura 2. Formações de Cerrado amostradas em campo (da esquerda para a direita: Classe 1 – regeneração inicial; Classe 2 – regeneração intermediária; Classe 3 – regeneração final).

Das 12 áreas amostradas, 8 foram utilizadas na geração dos modelos de estoques de biomassa e carbono em função do NDVI, pois em algumas parcelas Classe 1 e Classe 2, a resposta espectral da formação vegetal estudada foi afetada por outros tipos de vegetação não arbórea. O resultado encontra-se apresentado na Figura 3.

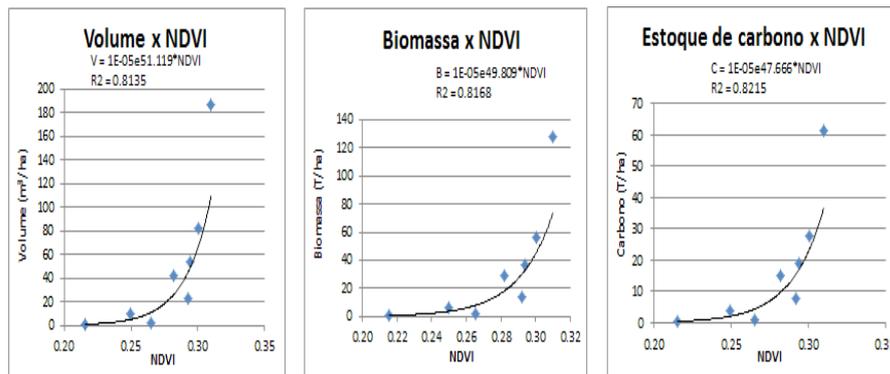


Figura 3. Relação entre NDVI e estoques de biomassa e carbono em formações de cerrado na porção mineira da bacia do Rio Pardo.

O modelo exponencial foi o que apresentou a melhor aderência estatística, mostrando que os estoques de biomassa e carbono aumentam, com o crescimento do NDVI. Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) de 81,68% e 82,15%, do modelo de biomassa e carbono, respectivamente, foram considerados satisfatórios, uma vez que, segundo Draper e Smith (1998), quanto mais próximos de 1 ou -1, melhor o ajuste do modelo aos dados experimentais. Os modelos ajustados foram aplicados ao mapeamento da distribuição espacial das variáveis em estudo, cujo resultado se encontra apresentado nas figuras 4 e 5.

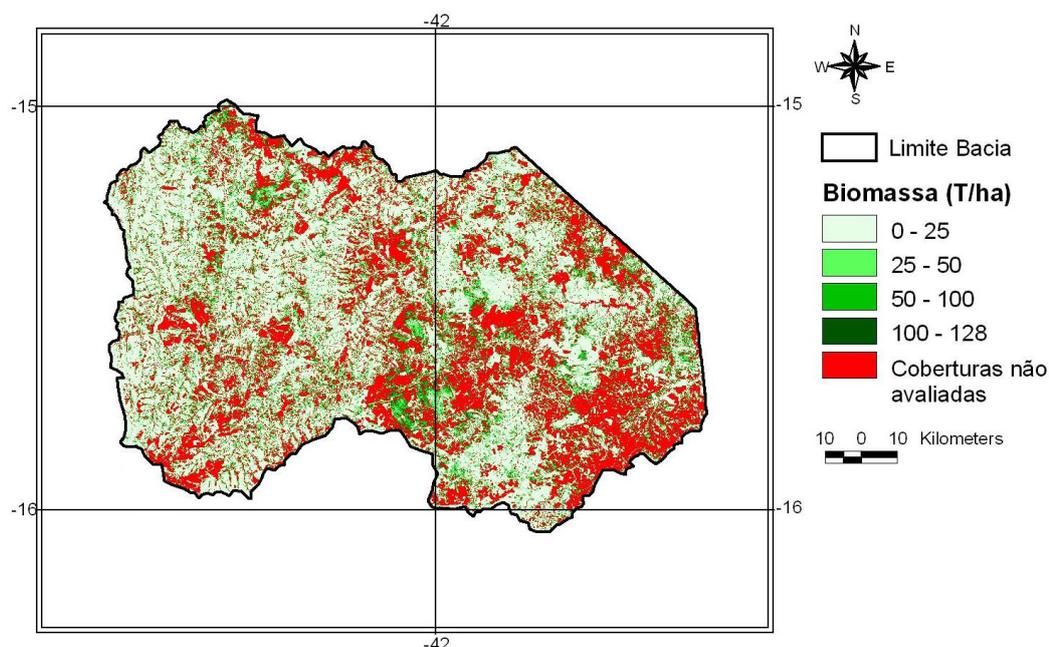


Figura 4. Distribuição espacial do estoque de biomassa na porção mineira da bacia do Rio Pardo-MG

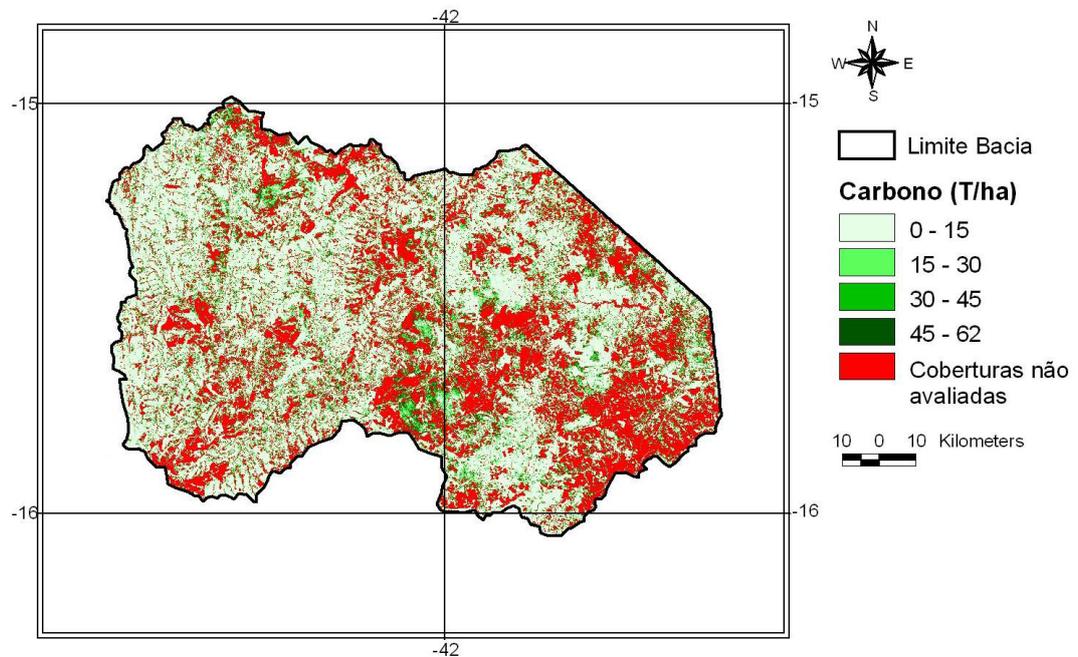


Figura5. Distribuição espacial do estoque de carbono na porção mineira da bacia do Rio Pardo-MG

Analisando-se os mapas de biomassa e carbono, percebe-se que a maior parte das formações de cerrado da bacia encontra-se com baixos estoques, entre zero e 25 toneladas/hectare e entre zero e 15 toneladas/hectare, respectivamente. Tal resultado está em concordância com as observações efetuadas em incursões à área, por meio do que se identificou uma forte predominância de áreas altamente degradadas e em estágio inicial de regeneração, em locais, segundo Scolforo et al. (2008), cobertos originalmente com Cerrado Strictu Sensu. Observou-se também que essas mesmas áreas são originárias de atividades agropastoris e/ou silviculturais encerradas.

#### 4 | CONCLUSÕES

A partir dos resultados alcançados com a metodologia proposta, pode-se concluir que:

- as classes pré-definidas de formações de cerrado apresentaram estoques de biomassa e carbono condizentes ao observado em campo durante a execução do inventário florestal, com a Classe 1 apresentando os menores valores, seguida pelas classes 2 e 3;
- observou-se uma forte relação direta entre o NDVI e os estoques de biomassa e carbono, com coeficientes de determinação de 0,8168 e 0,8215, respectivamente. Por esse motivo, os modelos preliminares de biomassa e carbono em função da resposta espectral foram considerados satisfatórios;
- a maior parte da bacia se encontra com baixos estoques de carbono e, por isso, em nível crítico de degradação. A predominância de áreas críticas re-

quer a adoção de medidas conservacionistas, uma vez que o problema interfere em outros processos, como na produtividade hídrica da bacia. Por outro lado, trata-se uma oportunidade de geração de renda via geração de créditos de carbono com projetos florestais;

- o estudo será aprofundado, com a execução de novas campanhas de inventário florestal e a proposição/avaliação de modelos com outros índices de vegetação, como o NRVI e o SAVI – exemplos de índices que tentam eliminar a reflectância do solo, no caso de coberturas vegetais esparsas, como o Cerrado.

## 5 | AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG e ao IFNMG, pelo apoio financeiro e logístico.

## REFERÊNCIAS

Amaral, F. C. S.; Santos, H. G.; Áglio, M. L. D.; Duarte, M. N.; Pereira, N. R.; Oliveira, R. P.; Júnior, W. C. **Mapeamento de solos e aptidão agrícola das terras do Estado de Minas Gerais**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento N° 63. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 2004, 95p.

Bolfe, E. L.; Ferreira, M. C.; Batistella, M. Avaliação da correlação entre índices de vegetação e biomassa epígea de sistemas agroflorestais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14. 2009. Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 2603-2610. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://martes.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.14.13.14/doc/2603-2610.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2016.

Cassol, H. L. **Estimativa de biomassa e estoque de carbono em um fragmento de floresta ombrófila mista com uso de dados ópticos de sensores remotos**. 2013. 143P. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

Celes, C. H. S.; Shimabukuro, Y. E.; Campos, M. A. A.; Higuchi, N. Estimativa de biomassa em uma floresta tropical no município de Maués – AM, Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, no 65/3, p. 541 – 554, 2013.

Draper, N.R.; Smith, H. **Applied regression analysis**. 3. ed. New York.:J.Wiley, 1998. 706p.

Juras, I. A. G. M. **Créditos de carbono**. Brasília: Consultoria Legislativa – Estudo. Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados, 2009. 10p. Disponível em <<http://camara.gov.br>>. Acesso em: 21 fev. 2012.

Kuntschik, G. **Estimativa de biomassa vegetal lenhosa em cerrado por meio de sensoriamento remoto óptico e de radar**. 2004. 154P. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

Matos, F. D. A.; Kirchner, F. F. Estimativa de biomassa da Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme na Amazônia Central com o satélite IKONOS II. **Floresta**, v. 38, no 1, p. 157 – 171, 2008.

Oliveira, I. A.; Vicente, M. R.; Santos, R. M.; Sousa, R. E. G.; Chaves, I. L. S.; Cruz, L. P.; Lima, V. O. B.; Júnior, W. P. S. Mapeamento detalhado do uso/cobertura da terra para a bacia do Rio Pardo, Minas Gerais. In: III Seminário de Iniciação Científica e III Mostra de Trabalhos Científicos do IFNMG, 2014b. Januária. **Anais...** 3p.

Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: A. Silva Vieira Ed., 2007. 127 p.

Salis, H. H. C.; Santos, R. M.; Morelli, M. C. M.; Cardoso, R. L. R.; Chagas, F. M. F.; Mendes, V. J. P.; Vicente, M. R.; Lima, V. O. B. Avaliação econômica de conflitos de uso da terra na bacia do rio Pardo: estudo de caso para uma sub-bacia localizada no Município de São João do Paraíso – MG. In: III Seminário de Iniciação Científica e III Mostra de Trabalhos Científicos do IFNMG, 2014. Januária. **Anais...** 3p.

Scarpinella, G. D. **Reflorestamento no Brasil e o Protocolo de Quioto**. 2002. 182p. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

Scolforo, J. R. et al. Volumetria, peso de matéria seca e carbono. In: Scolforo, J. R.; Mello, J. M.; Oliveira, A. D.(Ed.). **Inventário Florestal de Minas Gerais: Cerrado - Florística, Estrutura, Diversidade, Similaridade, Distribuição Diamétrica e de Altura, Volumetria, Tendências de Crescimento e Áreas Aptas para Manejo Florestal**. Lavras: UFLA, 2008. cap. 8, p. 361-438.

Silva, R. F. **Projeção do estoque de carbono e análise da geração de créditos em povoamentos de eucalipto**. 2007. 53p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

Toledo, L. O.; Anjos, L. H. C.; Couto, W. H.; Correia, J. R.; Pereira, M. G.; Correia, M. E. F. Análise multivariada de atributos pedológicos e fitossociológicos aplicada na caracterização de ambientes de cerrado no norte de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 33, n. 5, p. 957 – 968, 2009.

## SENSORIAMENTO REMOTO NA CULTURA DO ALGODÃO

### Ziany Neiva Brandão

DSc. em SR: Sistema Água-Solo-Planta-Atmosfera, Embrapa Algodão, Departamento de Pesquisa & Desenvolvimento  
Campina Grande, PB, Brasil

### João Henrique Zonta

DSc. em Eng. Agrícola: Recursos Hídricos, Embrapa Algodão, Departamento de Pesquisa & Desenvolvimento  
Campina Grande, PB, Brasil

### Luciano Shozo Shiratsuchi

PhD em Agronomia: Ciência do Solo, Louisiana State University in the Department of Plant, Environmental and Soil Sciences. Baton Rouge, LA, EUA

**RESUMO:** O algodão é uma planta exigente em qualidade de solo, demandando elevada fertilidade e boa drenagem, sendo sensível à acidez do solo. Devido à intensa demanda de nutrientes e pesticidas, torna-se necessário o monitoramento constante da lavoura para manutenção de níveis de suficiência de nutrientes e consequente obtenção de alta produtividade. Para manter uma produção economicamente viável de algodão, devem-se empregar técnicas que visem maximizar a utilização dos insumos. Com as ferramentas de agricultura de precisão (AP) é possível identificar zonas heterogêneas, possibilitando o manejo do solo e dos insumos agrícolas,

aumentando assim a produtividade e reduzindo custos de produção, além de evitar possíveis problemas ambientais. A AP utiliza abordagens científicas e modernas, combinadas com os conhecimentos tradicionais e tecnologias de informação para uma produção agrícola inteligente. Entre essas ferramentas, as técnicas de sensoriamento remoto, onde as informações da lavoura são obtidas de forma não-destrutiva, rápida e por vezes à distância, têm se tornado de fundamental importância na obtenção e tratamento dos dados de campo. Técnicas de sensoriamento remoto (SR) desempenham um papel importante no campo em diagnósticos como a estimativa da produtividade, avaliação nutricional, detecção de pragas e doenças, previsão do tempo e avaliação da necessidade hídrica das plantas obtidas em sítio específico. Assim, o objetivo deste trabalho foi apresentar algumas das principais técnicas de SR utilizadas atualmente para o monitoramento do algodoeiro de alta produtividade, bem como oferecer uma visão geral dos resultados atualmente obtidos por pesquisadores usando as técnicas de SR.

**PALAVRAS-CHAVE:** Monitoramento do algodoeiro, variabilidade do solo, ferramentas de sensoriamento remoto, avaliação nutricional usando refletância.

**ABSTRACT:** Cotton plants demand soil with very good quality, requiring high fertility and good

drainage, being sensitive to soil acidity. Due to high demand of nutrients and pesticides, it is necessary to keep constantly crop monitoring to support sufficiency nutrient levels and consequently to achieve high crop yield. In order to maintain an economically feasible cotton production, techniques should be employed to optimize the use of inputs. Through precision agricultural (PA) tools it is possible to identify heterogeneous zones, enabling soil and inputs management to increase the cotton quality and yield, reducing production costs, as well as preventing possible environmental problems. PA uses scientific and modern approaches, combined with traditional knowledge and information technologies for an intelligent agricultural production. Among PA tools, remote sensing techniques, in which crop information is obtained in a non-destructively way, quickly and sometimes at a big distance, have become very important for obtention and treatment of field data. Remote sensing (SR) techniques play an important role in the field, especially in diagnostics such as crop yield estimation, nutritional assessment, pest and disease detection, weather forecasting and estimation of plants water requirement in site-specific. Therefore, this work aimed to present some of the main SR techniques currently used for the monitoring of high productivity cotton, as well as offer an overview of the currently results achieved by researchers using SR.

**KEYWORDS:** Cotton monitoring, soil variability, remote sensing tools, nutritional evaluation by reflectance.

## 1 | INTRODUÇÃO

O algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.) possui alto custo de produção, onde fertilizantes e corretivos de acidez do solo correspondem a cerca de 20% do custo total (SANA, 2013). Por isso, para uma produção economicamente viável deve-se empregar técnicas que visem maximizar a utilização dos insumos adicionados ao solo. As ferramentas de agricultura de precisão (AP) possibilitam identificar zonas heterogêneas, possibilitando a otimização no manejo do solo, da cultura e dos insumos agrícolas, com diminuição do custo de produção e minimização de problemas ambientais (BRANDÃO et al., 2014).

A utilização de sistemas georreferenciados, juntamente com o histórico da área e informações de variabilidade, permitem encontrar respostas para fatores que influenciam a produtividade, possibilitando assim a criação de zonas de manejo (ZM).

Uma das principais ferramentas da AP é a obtenção de dados através do uso de sensores remotos (SR). Atualmente, sensores remotos são instalados em diversas plataformas, como satélites, aeronaves, veículos aéreos não tripulados (VANTs), máquinas agrícolas autopropelidas, etc.

Dados da refletância têm sido associados a conteúdo de água e elementos presentes no solo como, ferro, cobre, etc. Esses dados ainda podem ser relacionado às características das plantas como o índice de área foliar, a biomassa ou a fração radiativa interceptada fotossinteticamente (BRANDÃO, 2014; VIÑA et al., 2011). Na

agricultura, as propriedades da refletância em cada faixa do espectro eletromagnético podem ser melhor avaliadas através de combinações matemáticas de diferentes bandas espectrais, ou comprimentos de onda (ATZBERGER, 2013). Essas transformações são medidas da atividade da vegetação utilizam em especial as faixas do visível e infravermelho próximo (NIR – *Near Infrared*) e são denominados de índices de vegetação (IVs), podendo ser divididos em índices sensíveis à concentração do pigmento (clorofila) e índices estruturais, que podem ou não ser imunes à influência das propriedades óticas do solo (SHIRATSUCHI et al., 2014; BRANDÃO et al., 2009).

Os sensores vêm sendo usados para estimar características do solo ou plantas e auxiliar a tomada de decisão para aplicação de água, nutrientes ou inseticidas/pesticidas e dessa forma aumentar a produtividade das culturas, com redução dos danos ambientais, pois evita o desperdício de aplicação de insumos em áreas onde não há necessidade.

## 2 | DADOS REMOTOS E A ESCOLHA DOS SENSORES

A aplicação de tecnologias de AP baseadas em sensores requer boa capacidade técnica para processamento e análise dos dados de sensoriamento, sendo sua adoção recomendável quando a fazenda já acumula certa experiência em AP (PAXTON et al., 2011). Nessa etapa as maiores fontes de variabilidade nos talhões já devem ter sido levantadas. Os sensores podem ser escolhidos de acordo com a época que se deseja o monitoramento. Se o produtor escolhe sensores para o diagnóstico do solo, ou para o acompanhamento da cultura, vai depender das fontes de variabilidade encontradas no histórico da área.

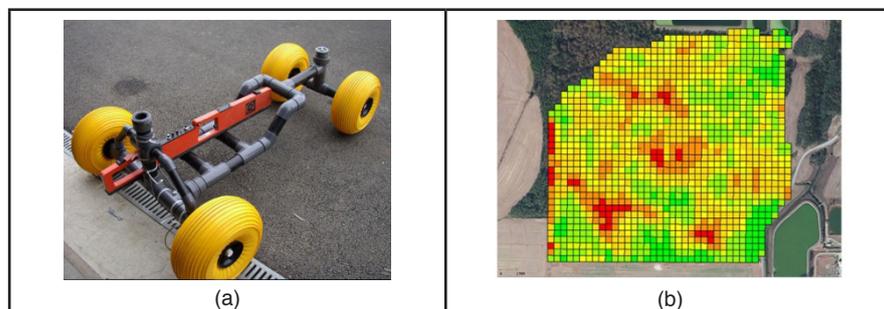
Os sensores podem ser divididos em três tipos: Sensores de solo, de plantas e de produtos. Há duas formas de sensoriamento, que são com e sem contato direto com o objeto que se quer monitorar (planta, solo, etc). Em âmbito mundial, já existe grande número de sensores para as mais diversas aplicações na agricultura. Desses, alguns vêm sendo experimentados por agricultores brasileiros. Seu uso tende a se tornar rotineiro a partir da redução do custo de aquisição e com a validação para as condições locais.

### 2.1 Sensores de Solo

Atualmente, vários sensores de solo são utilizados por cotonicultores, em especial aqueles que fornecem dados de textura de solo, umidade e fertilidade. Embora já existam sensores comercialmente disponíveis, muitos deles fornecem dados que são afetados por mais de uma característica agrônômica e necessitam de análises ou sensores complementares.

Muitos estudos têm como objetivo a avaliação desses sensores comerciais, especialmente por fornecerem dados em tempo real e um mapa completo e

georreferenciadas características avaliadas. Entre os mais utilizados por cotonicultores nos EUA e Austrália encontram-se os sensores de indução eletromagnética (Figura 1) que podem estimar desde o tipo de solo até umidade ou salinidade através da condutividade elétrica aparente do solo (CEa). Outros sensores também muito utilizados são os que fornecem dados complementares para programações de irrigação e níveis de nutrientes no solo.



**Figura 1.** (a) Sensor de indução eletromagnética EM38, instalado em um veículo de PVC, para medição da condutividade elétrica aparente do solo (CEa) (Foto: Georeva), e (b) Mapa dos dados obtidos através do sensor EMI. (Fonte: Hawkins et al., 2018).

Algumas pesquisas relatam que as leituras da CEa estão relacionadas a características e propriedades do solo como salinidade, umidade, textura e CTC (MOLIN e RABELLO, 2011), sendo possível obter boas correlações entre elas a partir de leituras da CEa tomadas em campo com o sensor EM38-MK2 (HEIL e SCHMIDHALTER, 2017; SUDDUTH et al., 2005).

Dependendo do atributo que se queira avaliar, diferentes técnicas e sensores, apresentados na Tabela 1, vêm sendo utilizados em diversos países, incluindo o Brasil.

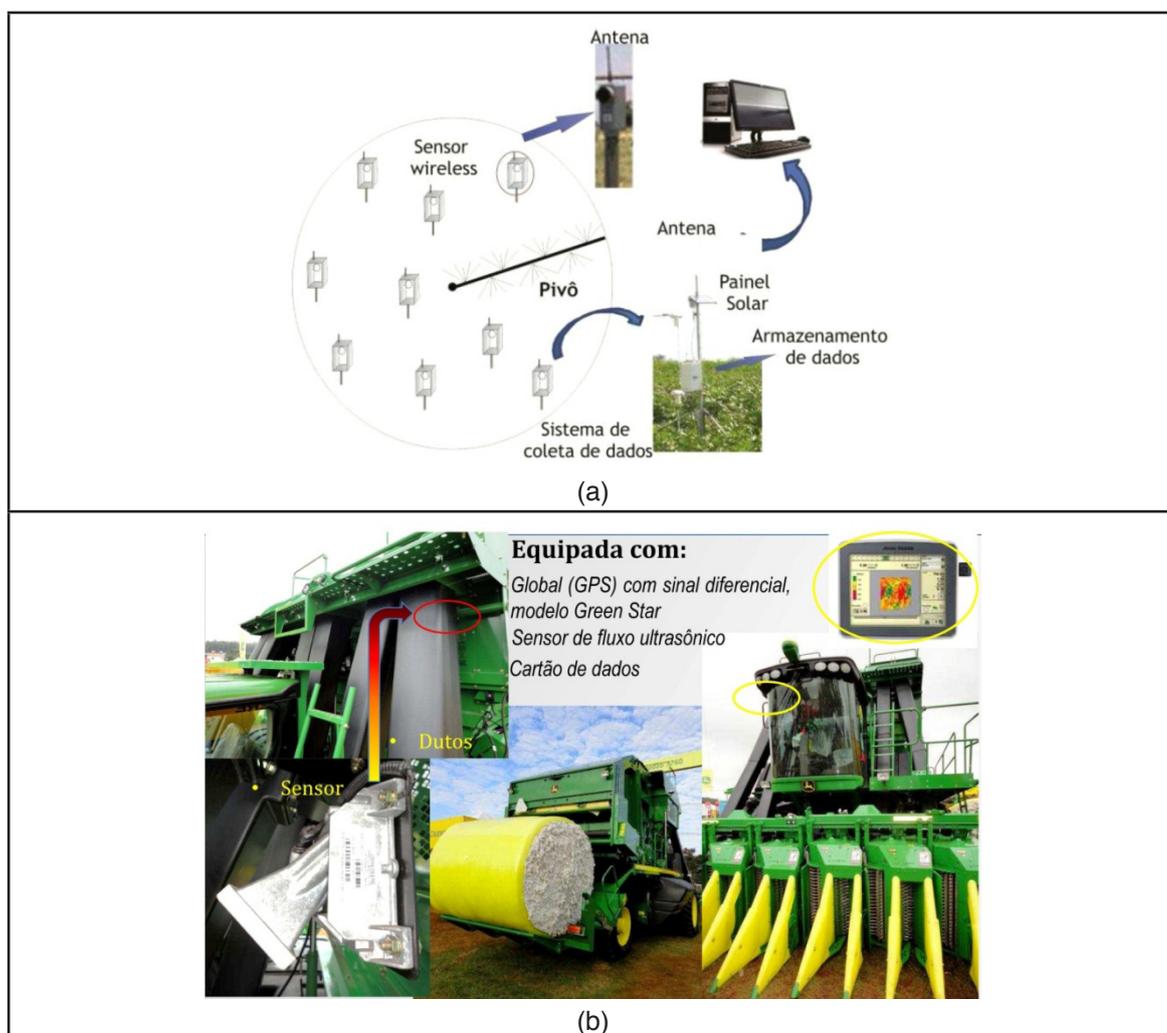
Sensores comerciais	Técnicas de medição em campo
Matéria orgânica	1. Refletância nas faixas do visível e infravermelho próximo.
Textura	2. Indução eletromagnética
Umidade	3. Resistividade elétrica
Nutrientes	4. Sensores acústicos
pH	5. Sensores TDR (time domain reflectometry) (de contato)
Salinidade	6. Ressonância magnética nuclear
	7. Eletrodos seletivos à íons (de contato)
	8. Sensores de condutividade elétrica (remoto ou de contato)

Tabela 1: Alguns sensores de solo e técnicas de medição utilizadas.

Em experimento realizado antes do plantio do algodão na fazenda Pamplona, no estado de Goiás, Brandão et al. (2011) encontraram correlações significativas entre os valores de CEa e os de pH, que variaram de 42 a 61% na camada superficial (CEa até 30 cm) e de 52 a 75% na camada mais profunda (CEa até 90 cm). Eles observaram que na camada superficial, a CEa apresentou correlações similares tanto com o  $pH_{\text{água}}$ , quanto com o  $pH_{\text{SMP}}$  na superfície, enquanto o  $pH_{\text{CaCl}_2}$  apresentou menor valor. Por outro lado, na camada mais profunda do solo a CEa apresentou a melhor correlação

com o  $pH_{SMP}$ , que foi de 75% seguido do  $pH_{CaCl_2}$  (59%) e por último o  $pH_{\text{água}}$  (52%). Em trabalho realizado para recomendação de calagem para os estados do Kansas, Illinois, Iowa, Nebraska e Wisconsin, USA, com base na correlação entre  $pH_{\text{água}}$  e  $pH_{SMP}$  com a CEa, Lund et al. (2005) relatam que o  $pH_{SMP}$  apresentou melhor correlação em três de quatro campos experimentais estudados. No solo agrícola, o pH do solo está relacionado com o teor de bases trocáveis no solo (RAIJ, 1991). Do mesmo modo, a condutividade elétrica está relacionada com a maior concentração de íons na solução de solo, que aumenta com o crescimento dos teores dos nutrientes trocáveis.

Sensores de solo podem estar interligados em sofisticados sistemas de rede sem fio, captando em tempo real as medidas que se quer obter, como, por exemplo, o sistema remoto de recepção de dados apresentado na Figura 2(a) para monitorar a umidade no solo em uma cultura irrigada. Os sensores de produtividade não entram em contato direto com o produto e operam estimando o rendimento com boa precisão e armazenando os dados para geração de um mapa georreferenciado, como a colheitadeira de algodão apresentada na Figura 2(b).



**Figura 5.** (a) Sistema de sensores sem fio para determinação da umidade em tempo real em cultivo irrigado. (b) Monitor de colheita John Deere, que fornece o mapa de produtividade georreferenciado da área colhida (JOHN DEERE, 2006).

A utilização de outras ferramentas como GPS, sistemas de pilotos automáticos,

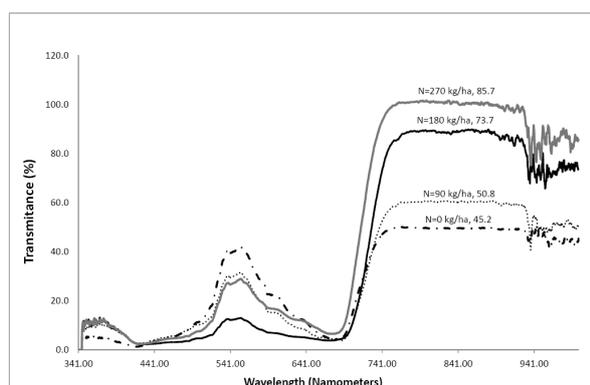
sistemas de controle de irrigação ou softwares de tratamento de imagens são hoje uma realidade, no mundo e também no Brasil sendo utilizados por grandes empresas.

## 2.2 Sensores de Resposta Espectral e a Nutrição do Algodoeiro

Embora existam diversas técnicas de avaliação nutricional do algodoeiro na Agricultura de Precisão, as técnicas que utilizam a refletância espectral têm conseguido bastante espaço comercial, devido às facilidades de correlações com alguns nutrientes, especialmente o nitrogênio (N) e o potássio (K) (BRANDÃO, et al, 2014).

Características da refletância espectral de plantas saudáveis ou não, em vários estágios do crescimento, podem ajudar a identificar estresses nutricionais específicos em condições onde outros fatores ambientais são controlados. Deficiências de N e K influenciam a coloração da folha e a eficiência fisiológica do algodão (BRANDÃO, 2008; READ et al., 2006; BRONSON et al., 2011).

Deficiências de N no algodão geralmente resultam em produção menor de biomassa da planta e senescência prematura, evidenciadas pelo amarelamento ou clorose das folhas mais velhas, que tende a se estender visivelmente para toda a planta (BRANDÃO, 2009). Essas diferenças na produção da biomassa são perceptíveis na faixa do infravermelho próximo, e podem ser facilmente captadas através da refletância, conforme apresentado na Figura 3.

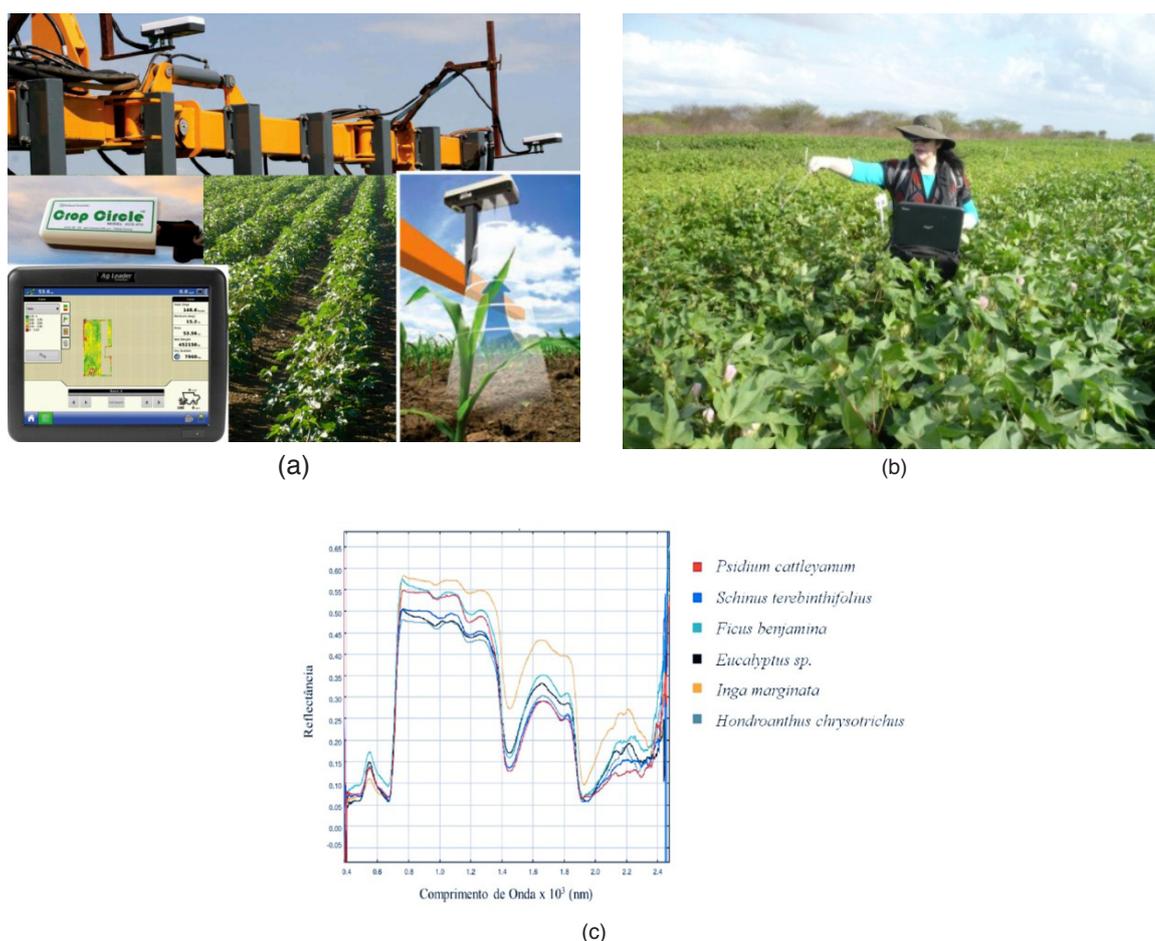


**Figura 3.** Variação dos espectros de refletância em plantas de algodão saudáveis, obtidas por espectrorradiometria de campo, durante um mesmo estágio fenológico em 2009, Apodi, RN. As plantas estavam totalmente supridas de água e com quatro doses de N (0, 90, 180 e 270 kg ha<sup>-1</sup>). A magnitude do aumento na refletância acima de 710 nm indica diferenças na biomassa, onde a menor biomassa registrada foi para N=0 kg ha<sup>-1</sup> e a maior biomassa para N = 270 kg ha<sup>-1</sup>. (Fonte: Brandão 2009).

Devido à alta exigência do algodoeiro em N, a gestão desse nutriente é uma das mais importantes práticas em sistemas de alta produtividade, pois tanto a deficiência como o excesso desse elemento, influencia negativamente o crescimento da planta, a retenção de frutos, a qualidade da fibra e a produtividade (REDDY et al., 2004).

O manejo eficiente da adubação nitrogenada é essencial para obtenção de altas produtividades, redução de custo e proteção ambiental, sendo assim objeto de intensas pesquisas ao longo das últimas décadas (CARVALHO et al., 2011). Muitas pesquisas

têm utilizado a refletância do dossel para identificação do status desse nutriente nas plantas de algodão através de sensores remotos ativos ou passivos (Figuras 4a e 4b) (BRANDÃO, 2009; TARPLEY et al., 2000).

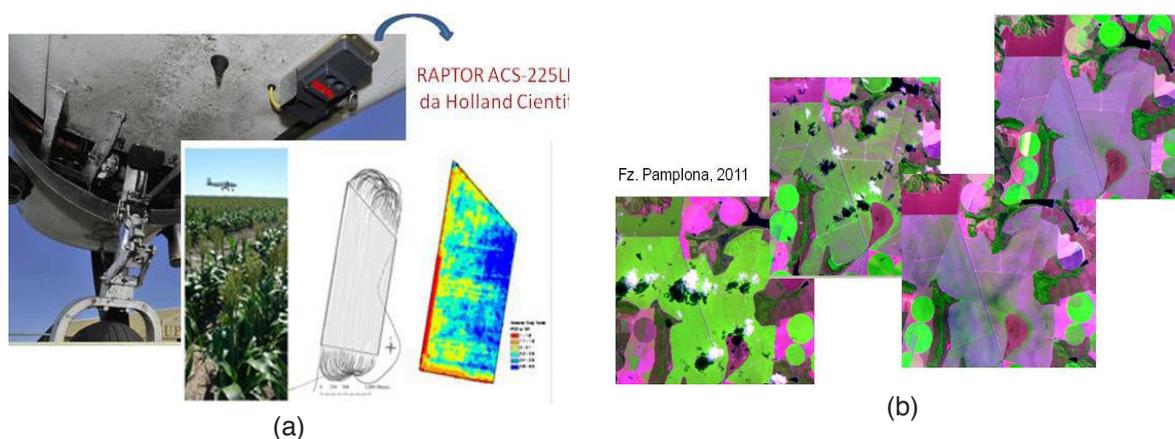


**Figura 4.** (a) Sensor óptico ativo Crop Circle®, (Foto: HOLLAND SCIENTIFIC®), (b) Espectrorradiômetro passivo da Apogee®, utilizados na cultura do algodoeiro. (Fonte: BRANDÃO, 2009), (c) Assinatura espectral média de seis espécies arbóreas coletadas no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, RS, obtidas por meio do espectrorradiômetro FieldSpec3®, modelo RST 3ZC (Fonte: PEDRALI et al., 2016).

Esses equipamentos têm mostrado excelentes correlações com o nitrogênio foliar obtido em laboratório (BRONSON et al., 2011; LOFTON et al., 2010; BRANDÃO, 2009; MOTOMIYA et al., 2009) e pela facilidade e rapidez de resposta foram adaptados às condições de uso em campo, implantados em implementos agrícolas de aplicação à taxa variada de insumos, como pode ser visto na Figura 4c, sendo já bastante utilizados por produtores dos EUA.

Outra categoria de sensores remotos são os orbitais ou sub-orbitais, que possuem em comum o princípio de imageamento por faixas. A largura das faixas de imageamento e precisão dos dados dependem do tipo de sensor. Enquanto imagens aéreas podem oferecer uma melhor resolução, elas apresentam diferentes tons que possibilitam uma classificação subjetiva do dossel (Figura 5a.) (BRANDÃO et al., 2015). As imagens orbitais podem oferecer desde temperatura do terreno até valores da luz refletida pelas plantas exatamente como os sensores em solo, dependendo do

sensor a ser usado (Figura 5b.). Por sua vez os radares, apesar de mais caros, fazem o imageamento da área sem problemas de interferência de nuvens.



**Figura 5:** Sensores remotos para vegetação. (a) Imagens aéreas obtidas pelo sensor da Holland Scientific®, instalado em avião. Fotos: Holland Scientific®. (b) Imagens do satélite Landsat 5 obtidas em quatro datas distintas dentro do ciclo do algodoeiro na Fazenda Pamplona, GO. Fonte: Brandão et al., 2015

## 2.4 Sensores de Produtividade

No planejamento agrícola, a estimativa da produtividade da cultura em que se está trabalhando é muito importante, e pode ser obtida durante o ciclo da cultura, de forma que se possa interferir no resultado final, uma vez que podem ser monitorados durante o período vegetativo através de sensores remotos espectrais (ZARCO-TEJADA et al., 2005).

O sensoriamento tem facilitado à avaliação do ambiente produtivo durante todo o ciclo do algodoeiro, numa ampla gama de escalas temporais e espaciais, dependendo do sensor escolhido. Entretanto, a avaliação da produtividade das culturas ao final do seu ciclo, fornece um dado real que permite a criação de zonas de manejo (ZM) daquela cultura, a partir de históricos da produtividade daquela área, combinados com dados de atributos do solo, explicando a maior parte da variabilidade e suas causas.

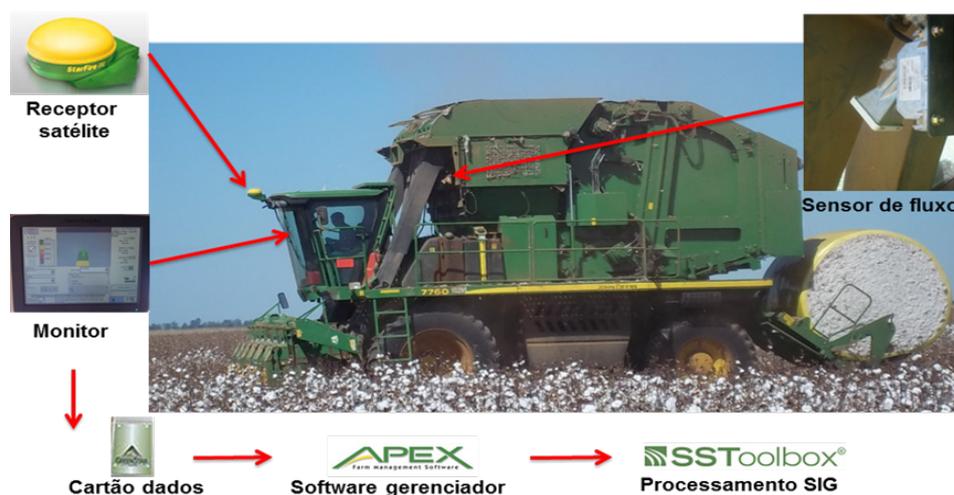
O mapeamento da produtividade proporcionado pelas ferramentas da agricultura de precisão destaca-se como ferramenta no gerenciamento da variabilidade espacial e temporal de lavouras comerciais, orientando práticas de manejo (MILANI et al., 2006). Tal aplicação, no entanto, requer, além da análise dos mapas de produtividade, o histórico de várias safras, mesmo que de diferentes culturas, para que a variabilidade temporal e espacial seja contemplada (BLACKMORE et al., 2003).

Mapas de produtividade de vários anos possibilitam não só a identificação da variabilidade temporal, mas permitem criar zonas com semelhança de características, definindo unidades de manejo em um talhão associando-os aos atributos do solo, deficiências nutricionais ou hídricas.

Para a geração dos mapas de produtividade, é necessário que a colhedora esteja equipada com sensor de rendimento, sistema de posicionamento global (GPS) e um

dispositivo para o armazenamento dos dados de produtividade que vêm associados às suas coordenadas geográficas (SANTI, 2007).

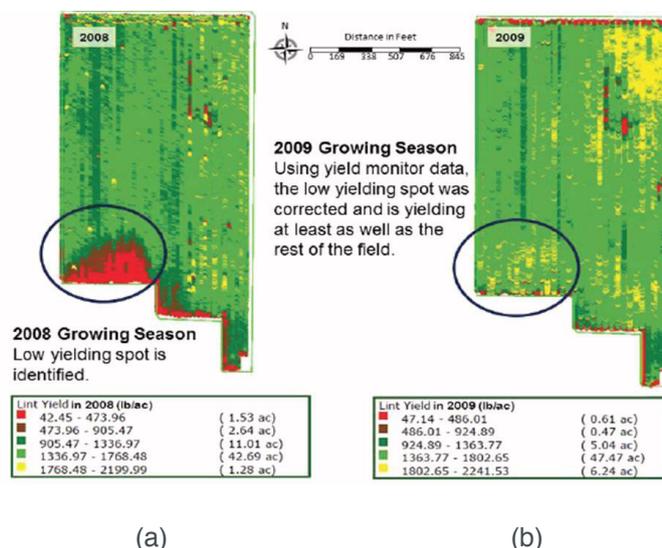
Para o algodão, a produtividade é medida por sensores de fluxo de massa que ficam instalados conectados aos dutos de entrada de pluma e caroço de algodão na máquina e medem a quantidade que passa através dos mesmos (JOHN DEERE, 2006), como apresentado na Figura 6. Os dados de produtividade devem ser submetidos à limpeza para retirada de erros, seguido pelo processo de filtragem dos dados brutos, permitindo assim a obtenção de resultados mais coerentes e aumento da qualidade final das informações (MENEGATTI e MOLIN, 2004).



**Figura 6.** Processo para geração mapas de produtividade na cultura do algodão. Fonte: SANA (2013).

Tem-se encontrado variação da produtividade das culturas de soja, milho e trigo (AMADO, 2007) e sua correlação com atributos de solo, como pH água, Ca e Mg trocáveis, CTC e argila natural (REICHERT et al., 2008).

Vellidis e Brannen (2012) reportam experimentos da Universidade da Georgia em 5 estados nos EUA onde os mapas de colheita auxiliaram na localização das áreas de baixas produtividades. Eles obtiveram altas correlações com os mapas de condutividade elétrica aparente do solo (CEa) criados com o Veris 3100. Usando esses mapas, os pesquisadores identificaram em experimento de 63ac no estado de Oklahoma, uma área com aproximadamente 5ac com produtividade muito baixa, sendo muito inferior à média na área estudada (Figura 7a). Após identificarem a causa, foram aplicadas ações corretivas e a mesma área no ano seguinte apresentou as mais altas produtividades da lavoura (Figura 7b).



**Figura 7.** Mapas de produtividade em campo com 63ac, em Altus, Oklahoma, (a) em 2008 antes e (b) em 2009, após as melhorias implantadas. Fonte: VELLIDIS e BRANNEN (2012).

### 3 | CONTROLE DA IRRIGAÇÃO NO SISTEMA PRODUTIVO DO ALGODÃO

Em culturas irrigadas, para um adequado manejo hídrico são utilizados métodos micrometeorológicos como o das correlações turbulentas, da razão de Bowen, métodos indiretos como proposto por FAO 56-Pemnan-Montheith e medidas diretas com lisímetros (BRANDÃO et al., 2011; BEZERRA et al., 2010). Esses métodos, aliados a modernas estações meteorológicas, sensores automatizados e sistemas de armazenagem de dados em campo, já são hoje bastante difundidos entre cotonicultores.

Entretanto, apesar de precisos, métodos que dependem da instalação de equipamentos como sensores ou lisímetros na área pode se tornar uma tarefa trabalhosa e de elevado custo. Neste contexto, os métodos que calculam a evapotranspiração a partir de imagens de satélites se mostram muito úteis, pois são capazes de estimar com boa precisão a evapotranspiração real da cultura (ET<sub>c</sub>), mesmo em talhões com grande heterogeneidade (BRANDÃO et al., 2011), sendo útil para o monitoramento do déficit hídrico em grandes áreas (Li e LASCANO, 2011).

O consumo de água no sistema solo-planta-atmosfera pode ser estimado por meio de imagens de satélite sem a necessidade de quantificação de complexos processos hidrológicos (BASTIAANSSEN, 2000), fornecendo uma boa estimativa da evapotranspiração. Gavilán e Berengena (2007) compararam dados da ET<sub>c</sub> obtidos com a técnica da razão de Bowen com medidas lisimétricas em áreas que apresentam fortes eventos advectivos e constataram que os mesmos foram superestimados em até 5,7% quando apenas dados diurnos foram considerados. Algoritmos como o SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*), têm sido aplicados com êxito em diversos ecossistemas para estimativa da ET<sub>c</sub> (BEZERRA et al., 2008; BASTIAANSSEN, 2000). Nesse algoritmo, a ET<sub>c</sub> é estimada a partir da quantificação da densidade de fluxo de calor latente - LE, obtido como resíduo da equação do balanço de energia - BE. Segundo Tasumi (2003), a estimativa da ET obtida pelo método SEBAL indica alto

potencial em áreas agrícolas quando comparada às medidas lisimétricas, resultando em informações com boa precisão para o gerenciamento dos recursos hídricos, tendo sido obtidos erros médios em torno de 2,5%. Assim, a escolha dos métodos e equipamentos para gerenciamento e controle da irrigação depende das condições e tamanho da lavoura, mão de obra e equipamentos disponíveis e é uma das primeiras aplicações de agricultura de precisão que se tem conhecimento.

#### 4 | APLICAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO E CASOS DE SUCESSO

O SR é muito utilizado em aplicações relativas a estudos de uso e cobertura das terras e de características da vegetação. Neste campo são realizados diversos estudos e aplicações, como a avaliação das alterações no uso e cobertura das terras em diversos, a avaliação de parâmetros biofísicos e de evapotranspiração da vegetação e estudos da abrangência de áreas agrícolas e de sua dinâmica temporal (JOHANN et al, 2012; VICTORIA et. al, 2012).

Após um mapeamento detalhado de um vinhedo na Austrália usando dados de sensores remotos para a viticultura, Bramley (2009), reportaram a diferenciação de áreas de menor a maior vigor, possibilitando a seleção de áreas para produção de uvas com maior qualidade, e obtenção de vinhos com preço diferenciado, agregando valor à produção (SHIRATSUCHI et al., 2014). Em outro trabalho, Echeverria et al (2013) mostraram como variações do NDVI em parreirais de Tannat, no Uruguai, podem ser detectadas em imagens do sensor orbital ASTER, e como é possível correlacionar tais variações a fatores de solo na extensão dos vinhedos. De fato, imagens de sensores como ASTER e Hyperion cobrem um domínio espectral entre 0,55 nm e 2,5 nm, sendo portanto sensíveis à toda gama de fatores importantes na descrição espectral da refletância de vegetais.

Variações de índices de vegetação (IVs) obtidos tanto por imagens orbitais como em sensores a bordo de veículos aéreos não-tripulados (VANTs) são de grande utilidade para o delineamento e a classificação de zonas de manejo (ZM) na agricultura de precisão (SHIRATSUCHI et al., 2014).. O tratamento e seleção desses dados considera métodos da análise estatística convencional e também geoestatística. (SHATAR e MCBRATNEY, 2001).

Técnicas de SR foram validadas e tem grande aplicabilidade na área agrícola dentro do conceito de AP, porém o custo e a falta de pessoal treinado ainda limita o uso por parte dos usuários. Uma grande limitação do SR através de sensores passivos orbitais são as nuvens, atmosfera e revisita do imageamento em tempo hábil para a tomada de decisão no manejo agrícola. Nebulosidade se torna crítica principalmente para culturas de verão por que o estágio fenológico da cultura que deve ser imageada geralmente coincide com a época de grande pluviosidade e nebulosidade. Neste cenário onde diversas técnicas validadas para sensores remotos já estão disponíveis os VANTs e os sensores ativos de dossel ou *active crop canopy sensors* (ACS) tem uma

grande importância para viabilizar a aplicação destas técnicas no manejo agrônomico sítio-específico de culturas agrícolas em nível de talhão.

Os ACS vêm sendo considerados por alguns como sensores remotos proximais, quando acoplados em máquinas agrícolas autopropelidas (Figura 4a). A grande vantagem dos ACS é que eles são ativos e sua luz modulada não é influenciada pela luz do sol, podendo ser utilizados a qualquer hora (noite ou dia). Estes sensores emulam a refletância do dossel em certos comprimentos de onda selecionados para diferenciar o conteúdo de clorofila e indiretamente a condição nutricional da planta em relação ao nitrogênio (N) (SHIRATSUCHI, 2011a). Eles também possibilitam o diagnóstico de N da planta e aplicação de fertilizantes nitrogenados em taxas variáveis em tempo real, aplicando o insumo somente onde necessário e na mesma operação. Ou seja, o sensor embarcado diagnostica o status de N da planta através dos IV e através de algoritmos específicos como os desenvolvidos por Solari et al. (2008); Dellinger et al. (2008) e Shiratsuchi et al. (2011b) calcula-se a dose de fertilizante nitrogenado que deve ser aplicada em tempo real.

Pesquisas no âmbito de fazenda (*on farm* research) mostraram no cinturão do milho americano que em 55 locais durante os anos de 2004 à 2008 a utilização destes ACS superaram em termo econômicos doses uniformes de fertilizantes nitrogenados no ordem de US\$42.ha<sup>-1</sup>, produzindo 110 kg.ha<sup>-1</sup> a mais de milho, reduzindo o uso de N em 16 kgN.ha<sup>-1</sup> (SCHARF et al., 2011). Considerando os preços crescentes dos fertilizantes e a redução do uso de insumos e diminuição do impacto ambiental, espera-se uma grande adoção deste tipo de tecnologia em empreendimentos agrícolas.

Existem inúmeras pesquisas sendo realizadas no intuito de se gerar fórmulas ou algoritmos para traduzirem dados de SR com o uso de VANTs e ACS em doses de insumos, como N, herbicidas, inseticidas, etc (HOLLAND e SCHEPERS, 2010; SHIRATSUCHI et al., 2014; HOLLAND e SCHEPERS, 2012). Até mesmo a utilização de ACS embarcados em VANTs já estão sendo utilizados como uma forma de mapeamento do status de N em milho (Figura 8).



**Figura 8.** Sensor ativo de dossel embarcado em VANT. <http://hollandscientific.com/>

Estudos sobre o comportamento de diversos IV para determinação de pigmentos foram realizados (LEMAIRE et al., 2004), porém poucos trabalhos levaram em

consideração ACS para cálculo de IVs e interferência do teor de água na determinação de doses de N (SHIRATSUCHI et al., 2014). Este cenário demonstra que um vasto campo de estudos dentro do SR vem sendo aberto e possui ainda grandes desafios principalmente em regiões tropicais, onde a limitação na aquisição de imagens, sistema de produção em plantio direto, custo de equipamentos e pessoal qualificado imperam na adoção destas tecnologias.

## 5 | AGRADECIMENTOS

A Rede de Agricultura de Precisão da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

## REFERÊNCIAS

AMADO, T. J. C.; PONTELLI, C. B.; SANTI, A. L.; VIANA, J. H. M.; SULZBACH, L. A. de S. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 1101-1110, 2007.

ATZBERGER C. Advances in remote sensing of agriculture: context description, existing operational monitoring systems and major information needs. **Remote Sensing**. v.5, p.949-981. 2013.

BASTIAANSEN, W. SEBAL - Based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, v.229, p. 87-100. 2000.

BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B.; BEZERRA, J. R. C.; BRANDÃO, Z. N. Evapotranspiração real obtida através da relação entre o coeficiente dual de cultura da FAO-56 e o NDVI. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, no.3, p. 404-414. 2010.

BEZERRA, B. G. SILVA, B. B. Da, FERREIRA, N. J. Estimativa da evapotranspiração real diária usando-se imagens digitais TM - Landsat 5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n. 3, p.305-317, 2008.

BLACKMORE, B. S.; GODWIN, R. J.; FOUNTAS, S. The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. **Biosystems Engineering**. v. 84, p. 455-466, 2003.

BRANDÃO, Z. N.; RESENDE, A. V.; MEDEIROS, J. da C.; INAMASU, R. Agricultura de precisão e cultivo do algodoeiro. In: BÉLOT, J-L. (Ed). **Manual de boas práticas de manejo do algodoeiro em Mato Grosso**. v.1, 2ª ed. Ed: IMAMt, Cuiabá, MT. 2015. 337p.

BRANDÃO, Z. N.; ZONTA, J. H.; FERREIRA, G. B. Agricultura de precisão na cultura do algodão. In: Bernardi, A.C.C.; Naime, J.M.; Resende, A.V.; Bassoi, L.H.; Inamasu, R.Y (Eds). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. v.1, 1ª ed. Ed: Embrapa, Brasília, DF. p. 295-305. 2014. 596p.

BRANDÃO, Z. N.; SOFIATTI V.; BEZERRA, J. R. C.; BEZERRA, B. G.; ZONTA, J. H. Uso do sensoriamento remoto na estimativa da necessidade hídrica do algodoeiro. In: Anais do 8º Congresso Brasileiro do Algodão – VIII CBA, 2011. **Anais.....**São Paulo, SP. p. 1725-1734.

BRANDÃO, Z. N. **Estimativa da produtividade e estado nutricional da cultura do algodão irrigado via técnicas de sensoriamento remoto**. 152f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais. UFCG, Campina Grande-PB, 2009.

- BRANDÃO, Z. N.; BEZERRA M. V. C.; FREIRE E. C.; DA SILVA B. B. Agricultura de precisão para gerenciamento do algodão. In: AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M. (Eds). **O Agronegócio do Algodão no Brasil**. v.2. Ed: Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, DF. 2008. 1309 p.
- BRAMLEY, R.G.V.. Lessons from nearly 20 years of Precision Agriculture research, development and adoption as a guide to its appropriate application. **Crop and Pasture Science**, v.60, p. 197-217, 2009.
- BRONSON, K.F.; MALAPATI, A.; NUSZ, J. W.; LAMA, P.; SCHARF, P.C.; BARNES, E. M.; NICHOLS. R.L. Canopy reflectance-based nitrogen management strategies for subsurface drip irrigated cotton in the Texas High Plains. **Agronomy Journal**. v.103, p. 422-430. 2011.
- CARVALHO, M. C. S.; FERREIRA, G. B.; STAUT, L. A. Nutrição, calagem e adubação do algodoeiro. In: FREIRE, E. C. (Editor). **Algodão no cerrado do Brasil**. 2ª Ed. rev. e ampl. Aparecida de Goiânia: Mundial Gráfica, 2011, p.677-752.
- DELLINGER, A. E.; SCHMIDT, J. P.; BEEGLE, D. B. Developing Nitrogen Fertilizer Recommendations for Corn Using an Active Sensor. **Agronomy Journal**, v.100, p.1546–1552. 2008.
- ECHEVERRIA, G.; DUCATI, J.R.; FERRER, M. Implementation of techniques for Remote Sensing as a method to determine the productive potential of a viticultural terroir. **Annals of 18th International Symposium GiESCO 2013**, Porto, 2013.
- GAVILÁN, P.; BERENGENA, J. Accuracy of the Bowen ration-energy balance method for measuring latent heat flux in a semiarid advective environment. **Irrigation Science**, v. 25, p. 127-140, 2007.
- HAWKINS, E.; FULTON, J.; PORT, K. **Using soil electrical conductivity (EC) to delineate field variation**. In: Ohio State University Extension (Eds). Ed. Ohioline: College of Food, Agricultural, and Environmental Sciences, Columbus, Ohio. 2018.
- HEIL, K.; SCHMIDHALTER, U. The Application of EM38: Determination of Soil Parameters, Selection of Soil Sampling Points and Use in Agriculture and Archaeology. **Sensors**, v.17, no.11, 2540; 2017, doi:10.3390/s17112540.
- HOLLAND K. H.; SCHEPERS, J. S. Derivation of a Variable Rate Nitrogen Application Model for In-Season Fertilization of Corn. **Agronomy Journal**. v. 102, no. 5, p. 1415-1424. 2010. doi:10.2134/agronj2010.0015.
- JOHANN, J. A.; ROCHA, J. V.; DUFT, D. G.; LAMPARELLI, R. A. C. Estimation of summer crop areas in the state of Paraná, Brazil, using multitemporal EVI/Modis images. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 1270–1278, 2012.
- JOHN DEERE. **Operator’s manual: Green Star Harvest Doc System**. John Deere Ag Management Solutions. Moline, Illinois, 2006.
- LEMAIRE, G.; FRANCOIS, C.; DUFRENE, E. Towards universal broad leaf chlorophyll indices using PROSPECT simulated database and hyperspectral reflectance measurements. **Remote Sensing of Environment**, v.89, p.1–28. 2004.
- LI, H.; LASCANO, R. J. Deficit irrigation for enhancing sustainable water use: Comparison of cotton nitrogen uptake and prediction of lint yield in a multivariate autoregressive state-space model. **Environmental and Experimental Botany**. v.71, p. 224–231. 2011.
- LOFTON, J.; WEINDORF, D. C.; HAGGARD, B.; TUBANA, B. Nitrogen variability: a need for precision agriculture. **Agricultural Journal**. v.5, p. 6-11. 2010.
- LUND, E.D.; ADAMCHUCK, V.I.; COLLINGS, K.L.; DRUMMOND, P.E.; CHRISTY, C.D. Development

of soil pH and lime requirement maps using on-the-go soil sensors. In: Stafford J. (ed). **Precision Agriculture'05**. Ed. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, p. 457-464. 2005.

McKINION, J. M.; JENKINS, J. N.; AKINS, D.; TURNER, S. B.; WILLERS, J. L.; JALLAS, E.; WHISLER, F. D. Analysis of a precision agriculture approach to cotton production. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 32, p. 213–228, 2001.

MENEGATTI, L. A. A.; MOLIN, J. P. Remoção de erros em mapas de produtividade via filtragem de dados brutos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, p. 126-134, 2004.

MILANI, L.; SOUZA, E. G. de; URIBE-OPAZO, M. A.; GABRIEL FILHO, A.; JOHANN, J. A.; PEREIRA, J. O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, p. 591-598, 2006.

MOLIN, J. P.; RABELLO, L. M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. **Engenharia Agrícola**. v. 31, p. 90-101, 2011.

MOTOMIYA, A. V. de A.; MOLIN, J. P.; CHIAVEGATO, E. J. Utilização de sensor óptico ativo para detectar deficiência foliar de nitrogênio em algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.13, p.137–145, 2009.

PAXTON, K. W.; MISHRA, A. K.; CHINTAWAR, S.; ROBERTS, R. K.; LARSON, J. A.; ENGLISH, B. C.; LAMBERT, D. M.; MARRA, M. C.; LARKIN, S. L.; REEVES, J. M.; MARTIN, S. W. Intensity of Precision Agriculture Technology Adoption by Cotton Producers. **Agricultural and Resource Economics Review**. v.40, p. 133–144. 2011.

PEDRALI, L.D.; MARCHESAN, J.; QUEIROZ, T.B.; BALDIN, T.; SOUSA, R.S.; BATISTA, F.J.; PEREIRA, R.S. Comportamento espectral de espécies utilizadas em arborização urbana. **Ecologia e Nutrição Florestal**, v.4, n.1, p.19-32. 2016. doi.org/10.5902/2316980X23082

RAIJ, B.van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, Ceres - Potafos, 1991. 343p.

READ, J. J., REDDY, K. R., JENKINS, J. N. Yield and fiber quality of upland cotton as influenced by nitrogen and potassium nutrition. **European Journal Agronomy**, v.24, p. 282-290. 2006.

REICHERT, J. M.; DARIVA, T. A.; REINERT, D. J.; SILVA, V. R. Variabilidade espacial de Planossolo e produtividade de soja em várzea sistematizada: análise geoestatística e análise de regressão. **Ciência Rural**. Santa Maria. n. 38, p. 981-988, 2008.

REDDY, K.R.; KOTI, S.; DAVIDONIS, G.H.; REDDY, V.R. Interactive effects of carbon dioxide and nitrogen nutrition on cotton growth, development, yield, and fiber quality. **Agronomy Journal**. v. 96, p.1148–1157. 2004.

SANA, R. S. **Variabilidade espacial de atributos de solo e de planta e produtividade do algodoeiro utilizando ferramentas de agricultura de precisão**. 173f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. UFRGS, Porto Alegre, RS, 2013.

SANTI, A. L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. Santa Maria, 2007. 150p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria.

SHATAR, T. M.; MCBRATNEY, A. B. Subdividing a field into contiguous management zones using a k-zones algorithm. In: **Proceedings of the 3rd European Conference on Precision Agriculture**, p. 115-120. 2001.

SCHARF, P. C.; SHANNON, D. K.; PALM, H. L.; SUDDUTH, K. A.; DRUMMOND, S. T.; KITCHEN, N.

R.; MUELLER, L. J. Sensor-Based Nitrogen Applications Out-Performed Producer-Chosen Rates for Corn in On-Farm Demonstrations. **Agronomy Journal**, v. 103, p. 1683–1691. 2011.

SHIRATSUCHI, L.S.; BRANDÃO, Z.N.; Vicente, L.E.; Victoria, D.C.; Ducati, J.R.; Oliveira, R.P.; Vilela, M.F. Sensoriamento remoto: Conceitos Básicos e Aplicações na Agricultura de Precisão. In: Bernardi, A.C.C.; Naime, J.M.; Resende, A.V.; Bassoi, L.H.; Inamasu, R.Y (Eds). Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. v.1, 1ª ed. Ed: Embrapa, Brasília, DF. p. 58-73. 2014. 596p.

SHIRATSUCHI, L. S. **Integration of plant-based canopy sensors for site-specific nitrogen management**. PhD Dissertation, University of Nebraska, Lincoln. 2011a. 157p.

SHIRATSUCHI, L. S.; VILELA, M. F.; FERGUSON, R. B.; SHANAHAN, J. F.; ADAMCHUK, V. I.; RESENDE, A. V. ; HURTADO, S. M. C.; CORAZZA, E. J. **Desenvolvimento de um algoritmo baseado em sensores ativos de dossel para recomendação da adubação nitrogenada em taxas variáveis**. In: Inamasu, R.Y.; Naime, J.M.; Resende, A.V.; Bassoi, L.H.; Bernardi, A.C.C.. (Org.). Agricultura de Precisão: Um novo olhar. v.1, 1ª ed. Ed.: Embrapa, São Carlos, SP. p. 184-188. 2011b. 334p.

SOLARI, F.; SHANAHAN, J.; FERGUSON, R.; SCHEPERS, J.; GITELSON, A. Active Sensor Reflectance Measurements of Corn Nitrogen Status and Yield Potential. **Agronomy Journal**, v. 100, 571-579. 2008.

SUDDUTH, K.A., KITCHEN, N.R., WIEBOLD, W.J., BATCHELOR, W.D., BOLLERO, G.A., BULLOCK, D.G., CLAY, D.E., PALM, H.L., PIERCE, F.J., SCHULER, R.T., THELEN, K.D. Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 46, p. 263–283. 2005.

TARPLEY, L., REDDY, K. R., SASSENATH-COLE, G. F. Reflectance indices with precision and accuracy in predicting cotton leaf nitrogen concentration. **Crop Science**, Madison, v. 40, p. 1814-1819, 2000.

VICTORIA, D. C.; PAZ, A. R.; COUTINHO, A. C.; KASTENS, J.; BROWN, J. C. Cropland area estimates using Modis NDVI time series in the state of Mato Grosso, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 1270–1278. 2012.

TASUMI, M. **Progress in operacional estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery**. University of Idaho (USA). 355 p., 2003.

VELLIDIS, G.; BRANNEN H. S. Cotton Yield Maps: tools for increasing efficiency & profitability. In: Map Yield Report. University of Georgia and Cotton Incorporated. 2012. Disponível em: <http://www.cottoninc.com/fiber/AgriculturalDisciplines/Engineering/Precision-Crop-Management-for-Cotton/Cotton-Yield-Maps/Cotton-Yield-Maps-PDF.pdf>

VERIS TECHNOLOGIES, USA. Disponível em: <<http://www.veristech.com>>. Acesso em: 02 de julho de 2013.

ZARCO-TEJADA, P. J., USTIN, S. L., WHITING, M. L. Temporal and spatial relationship between within-field yield variability in cotton and high-spatial hyperspectral remote sensing imagery. **Agronomy Journal**. v.97, p.641-653, 2005.

## TEMPERATURA DE BRILHO POR MEIO DE IMAGENS LANDSAT-8 NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL TIETÊ NO ESTADO DE SÃO PAULO

### **Adriana Fantinati Conceição**

Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Campinas  
- UNICAMP

### **Denivaldo Ferreira de Souza**

Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Campinas  
- UNICAMP

### **Pedro Enrico Salamim Fonseca Spanghero**

Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Campinas  
- UNICAMP

### **Lindon Fonseca Matias**

Docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Campinas  
- UNICAMP

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi analisar a temperatura de brilho na Área de Proteção Ambiental Tietê, localizada na região oeste do Estado de São Paulo, por meio de imagens termais de satélite. Para a área de estudo também foi obtido o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) com o objetivo de comparar as informações de temperatura de brilho em locais com maior e menor cobertura de vegetação. Foram adquiridas duas imagens do satélite Landsat-8, sensores OLI e TIRS, junto ao site do Serviço Geológico Americano (USGS) no período de março e abril de 2016. A metodologia utilizada para obter a temperatura

de brilho foi a indicada no manual do USGS (2016) para usuários de imagens do satélite Landsat-8. Dados meteorológicos das estações automáticas disponibilizadas no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) foram utilizados para comparação com os resultados obtidos por imagens de satélite. Ao analisar as imagens de NDVI com as de temperatura de brilho observou-se que onde havia pouca ou nenhuma cobertura vegetal a temperatura de brilho apresentava-se mais elevada, sendo essas áreas representadas pela urbanização na área central e as regiões próximas ao limite da APA sendo representadas por solo exposto. Já nas áreas onde havia uma densa cobertura vegetal, ou seja, NDVI mais alto, os valores de temperatura de brilho estavam mais baixos.

**PALAVRAS-CHAVE:** geotecnologias, sensoriamento remoto, infravermelho termal, índice de vegetação.

**ABSTRACT:** The objective of this work was to analyze the brightness temperature in the Tietê Environmental Protection Area, located in the western region of the State of São Paulo, through satellite thermal images. For the study area, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was also used to compare the brightness temperature information in sites with higher and lower vegetation cover. Two images of the Landsat-8 satellite, OLI and TIRS sensors,

were acquired near the site of the US Geological Survey (USGS) in March and April 2016. The methodology used to obtain the brightness temperature was indicated in the USGS manual (2016) for users of Landsat-8 satellite images. Meteorological data of the automatic stations made available on the website of the National Institute of Meteorology (INMET) were used to compare the results obtained by satellite images. When analyzing the NDVI images with the brightness temperature, it was observed that where there was little or no vegetation cover the brightness temperature was higher, these areas being represented by the urbanization in the central area and the regions near the limit of the APA being represented by exposed soil. In areas where there was a dense vegetation cover, that is, NDVI higher, the values of brightness temperature were lower.

**KEYWORDS:** geotechnologies, remote sensing, thermal infrared, vegetation index.

## 1 | INTRODUÇÃO

A redução da cobertura vegetal pode influenciar nas mudanças do clima, alterando, por exemplo, a temperatura de brilho. Para identificar as mudanças climáticas muitos métodos foram desenvolvidos visando obter melhores resultados, tanto por sensoriamento remoto como por instrumentos de medição local (Tasumi et al., 2008; Mu et al., 2011).

A principal diferença entre os dados obtidos por imagens de satélite ou com instrumento de medição em superfície é que as estações meteorológicas fornecem informações apenas locais, sendo difícil uma análise em escala regional e considerando paisagens heterogêneas. Já com os dados obtidos por meio das bandas termais dos satélites é possível produzir informações espaço-temporais sobre as condições da superfície em diferentes escalas, além de ser uma alternativa de mais baixo custo as imagens possibilitam a coleta de dados em áreas não abrangidas por estações meteorológicas convencionais, porém, possui algumas limitações, como as interferências atmosféricas, que podem influenciar no resultado final (Hantson et al., 2013, Fu et al., 2016).

Várias pesquisas aplicaram com sucesso os dados de sensores remotos orbitais para estimar dados climáticos (Allen et al., 2002). Pesquisas realizadas por Mataveli et al. (2014) com dados de sensoriamento remoto puderam avaliar a distribuição espacial e temporal da temperatura em áreas agrícolas no Estado de São Paulo, obtendo resultados satisfatórios. Loarie et al. (2011) usaram imagens de satélite para analisar os impactos climáticos diretos em conversão de uso e cobertura das terras no Cerrado do Brasil no período de 2000 a 2008.

Diante do exposto o presente trabalho objetivou analisar a temperatura de brilho na Área de Proteção Ambiental Tietê, localizada no oeste do estado de São Paulo, por meio de imagens termais do satélite Landsat-8 e comparar suas variações no espaço com o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Área de Proteção Ambiental (APA) Tietê localizada nos municípios de Tietê e Jumirim na região oeste do Estado de São Paulo (Figura 1). A APA foi criada pelo Decreto Estadual nº 20.959, de 8 de junho de 1983, possui uma área de aproximadamente 45.100 hectares e está localizada em uma região de antiga ocupação cafeeira. A criação da APA teve como objetivo proteger as áreas remanescentes de vegetação natural existentes, sendo caracterizada pelo bioma Mata Atlântica de Floresta Estacional Semidecidual (Fundação Florestal, 2016). O clima na região, segundo a classificação climática de Köppen (1948) é do tipo tropical com duas estações distintas - verão chuvoso e inverno seco com temperaturas médias anuais oscilando entre 20° a 25° C.

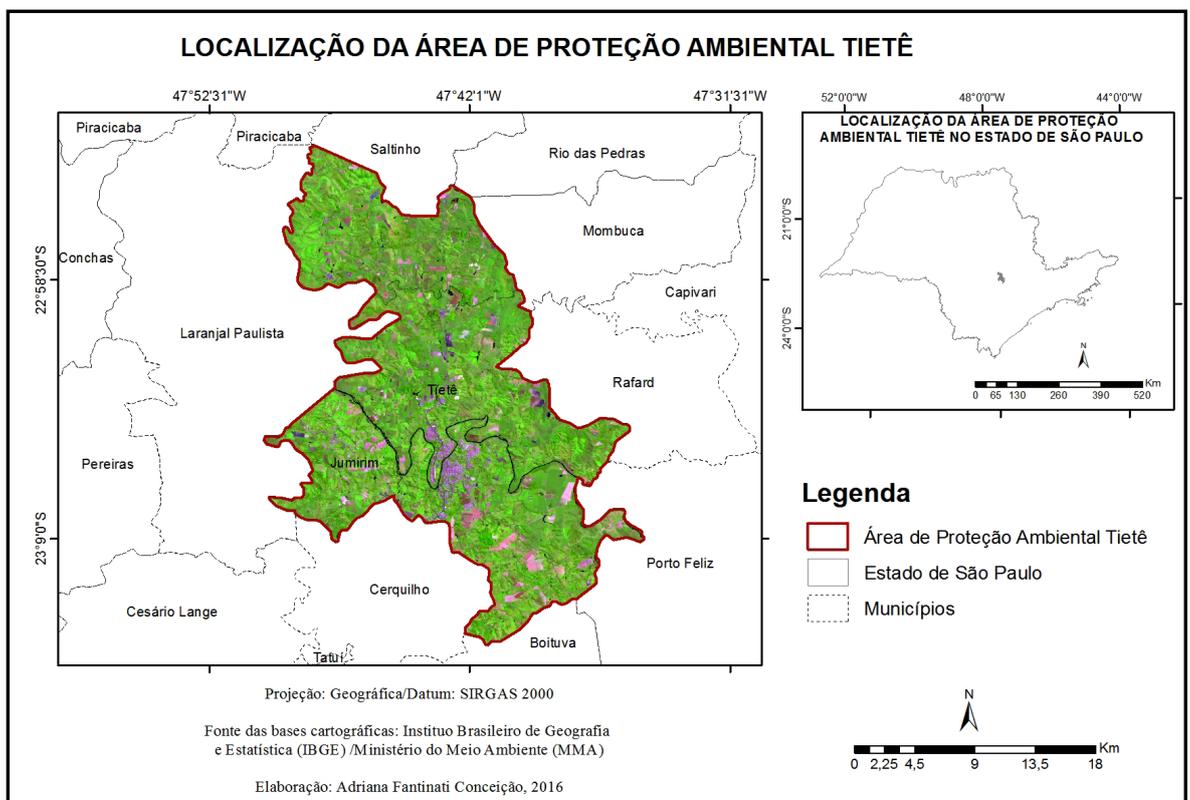


Figura 1. Localização da área de estudo.

Foram adquiridas imagens orbitais digitais do Land Remote Sensing Satellite (Landsat-8) sensores Thermal Infrared Sensor (TIRS), banda 10 para obtenção dos mapas de temperatura de brilho, e Operational Land Imager (OLI) para obter os valores de NDVI, e assim analisar os valores de temperatura de brilho em áreas com maior e menor cobertura de vegetação. Ambos os sensores são referentes ao período de 08/03/2016 e 09/04/2016, órbita/ponto 220/76 e horário de passagem às 13:10, sendo adquiridas no site do Serviço de Levantamento Geológico Americano (USGS), disponibilizadas gratuitamente.

A metodologia utilizada para obter os valores de temperatura de brilho foi a

indicada no manual do USGS para usuários das imagens de satélite do Landsat-8 (2016). O primeiro processo foi a conversão dos níveis de cinza (NC) para radiância e em seguida para temperatura Kelvin, procedimentos esses realizados na calculadora raster do software ArcGIS 10.2. A seguir a fórmula sugerida no manual USGS:

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

Sendo:

$L_{\lambda}$ : Radiância Espectral em sensor de abertura em Watts/(m<sup>2</sup>sr μm)

$M_L$ : Fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 (0.00033420)

$Q_{cal}$ : Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN

$A_L$ : Fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 = 0.10000

Para o cálculo da temperatura de brilho foi utilizada a seguinte fórmula:

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

Sendo:

$T$ : Temperatura efetiva no satélite em Kelvin (K)

$K_2$ : Constante de calibração 2 = 1.321.08 (K)

$K_1$ : Constante de calibração 1 = 774.89 (K)

$L_{\lambda}$ : Radiância Espectral em sensor de abertura em Watts/(m<sup>2</sup>sr μm)

Na transformação dos valores de temperatura Kelvin para graus Celsius foi realizada a subtração das imagens com valor Kelvin pelo valor absoluto de 273,15.

Foram obtidos planos de informações no formato vetorial *shapefile* (.shp), como o limite municipal adquirido no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e o limite da Área de Proteção Ambiental Tietê obtido no site do Ministério do Meio Ambiente (MMA). Antes do recorte da área de interesse obteve-se a localização e os dados das estações meteorológicas automáticas mais próximas da APA por meio do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Por fim, seguiu-se para o recorte da imagem e o processamento do NDVI para comparação das áreas.

No procedimento para obter o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foram utilizadas as bandas do sensor OLI do Landsat-8. Inicialmente as imagens foram convertidas para reflectância.

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

Em que:

$\rho\lambda'$ : é a reflectância planetária, sem a correção do ângulo solar

$M\rho$ : é o fator multiplicativo de cada banda, encontrado no arquivo metadados

$A_p$ : é o coeficiente de adição encontrado no arquivo metadados

$Q_{cal}$ : são os números digitais (DN) correspondentes a cada banda da imagem

Em seguida foi realizada a correção da reflectância para o ângulo solar.

$$\rho\lambda = \rho\lambda' / \cos(\theta_{sz}) = \rho\lambda' \sin(\theta_{se})$$

Em que:

$\rho\lambda$ : é a reflectância planetária

$\theta_{SE}$ : é o ângulo de elevação solar

$\theta_{SZ}$ : é o ângulo zenital solar

Após o processamento das imagens para reflectância corrigida obteve-se o NDVI, sendo este a diferença entre as respostas espectrais no infravermelho próximo e no vermelho, tendo sido introduzido por Rouse et al. (1973) por meio da seguinte equação:

$$ndvi = \rho_{iv} - \rho_v / \rho_{iv} + \rho_v$$

Onde:

ndvi: é o índice de vegetação da diferença normalizada

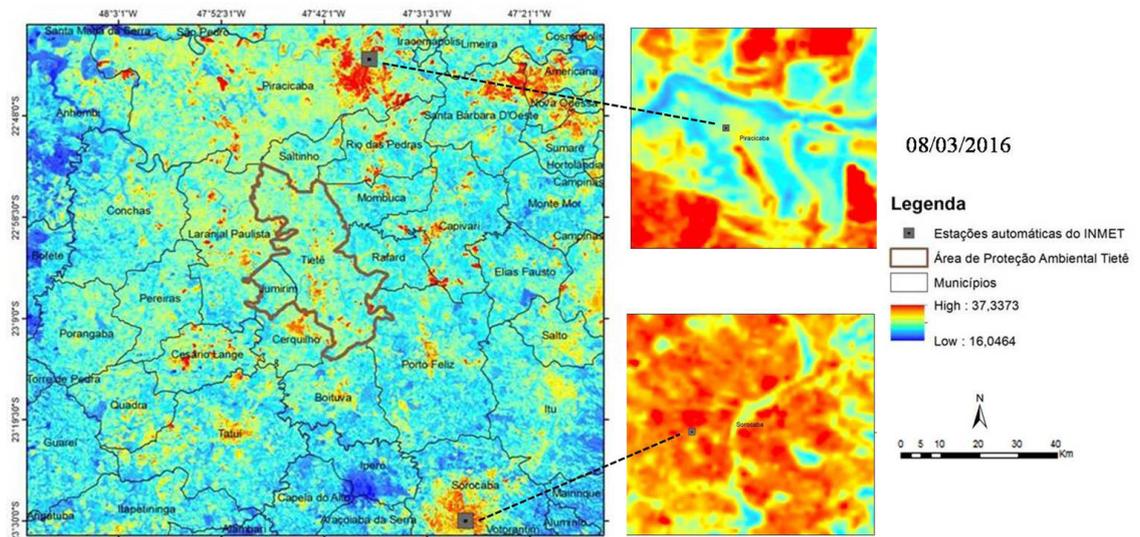
$\rho_{iv}$ : é a refletância da banda do infravermelho próximo

$\rho_v$ : a refletância na banda do vermelho.

Após obter os dados de temperatura de brilho e NDVI este foram classificados e gerados mapas e gráficos.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Área de Proteção Ambiental Tietê, embora localizada nos municípios de Tietê e Jumirim, não conta nestes municípios com estações meteorológicas. As estações meteorológicas automáticas do INMET mais próximas da APA foram localizadas nos municípios de Piracicaba e Sorocaba (Figura 2).



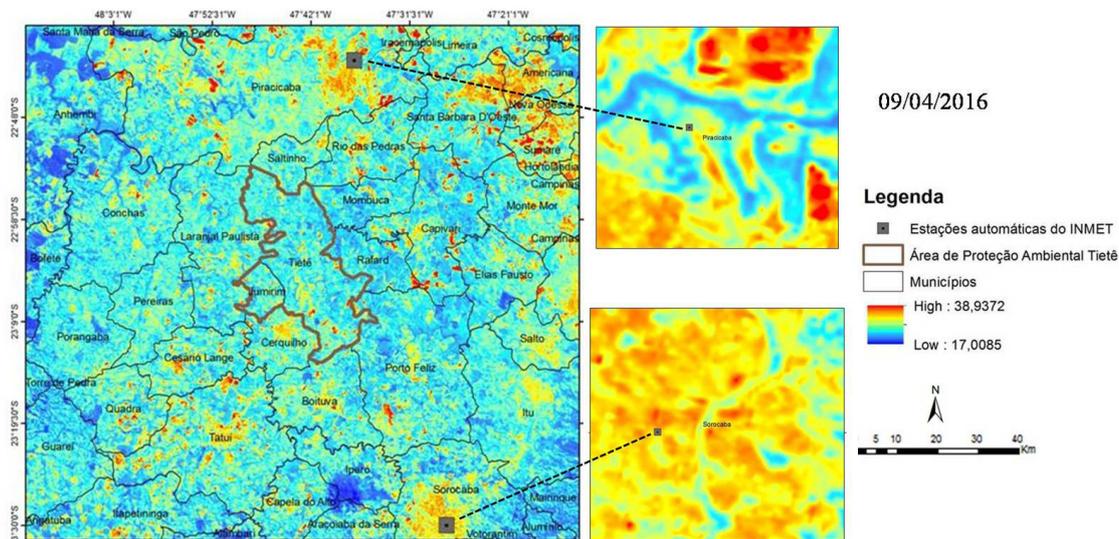
**Figura 2.** Temperatura de brilho do Landsat-8 com a localização das estações automáticas do INMET próximas da Área de Proteção Ambiental Tietê referente ao dia 08/03/2016.

Na imagem termal referente ao dia 8/3/2016 (Figura 2) foi obtido um valor de temperatura de 25°C para a estação de Piracicaba e um valor de 27°C para a estação de Sorocaba. Estes valores se encontram muito próximos dos obtidos nas estações automáticas do INMET (Tabela 1).

Estação	Data	Hora	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Vento (m/s)			Radiação (kJ/m <sup>2</sup> )	Chuva (mm)
			Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Vel.	Dir.	Raj.		
Piracicaba	08/03/2016	13	26.8	27.0	25.0	73	85	71	1.5	53°	3.1	2594.	0.0
Sorocaba	08/03/2016	13	26.3	26.8	24.8	65	78	65	1.2	40°	3.4	2444.	0.0

**Tabela 1.** Dados obtidos nas estações meteorológicas automáticas do INMET em 8/03/2016.

Para a imagem termal referente ao dia 9/4/2016 (Figura 3) foi obtido um valor de 28° C na coordenada onde se encontra a estação do INMET em Piracicaba e um valor de 28,5°C na coordenada onde está a estação de Sorocaba. Ao comparar os dados obtidos na imagem termal com os dados obtidos na estação para o mesmo período (Tabela 2) tem-se uma diferença de menos de 0,7°C ao comparar com a temperatura máxima.



**Figura 3.** Temperatura de brilho do Landsat-8 com a localização das estações automáticas do INMET próximas da Área de Proteção Ambiental Tietê referente ao dia 09/04/2016.

Estação	Data	Hora	Temperatura (°C)		Umidade (%)			Vento (m/s)		Radiação (kJ/m <sup>2</sup> )	Chuva (mm)
			Inst.	Máx. Mín.	Inst.	Máx. Mín.	Vel.	Dir.	Raj.		
Piracicaba	09/04/2016	13	27.7	27.8 24.9	69	84 69	1.5	87°	3.3	2290.	0.0
Sorocaba	09/04/2016	13	27.8	27.8 25.2	64	75 62	1.4	38°	2.8	2157.	0.0

**Tabela 2.** Dados obtidos nas estações meteorológicas automáticas do INMET em 09/04/2016

Os resultados obtidos por meio de imagens termais apresentaram boa proximidade com os dados obtidos por meio das estações. Coelho et al. (2013) aplicaram metodologia semelhante para obtenção dos valores de temperatura, sendo que os resultados apresentaram que a cobertura de vegetação do Parque Estadual da Fonte Grande exercia importante influência na amenização da temperatura.

Recortando a imagem para a área de interesse, ou seja, a APA Tietê, tem-se a seguir os mapas do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e de temperatura de brilho (Figuras 4 e 5).

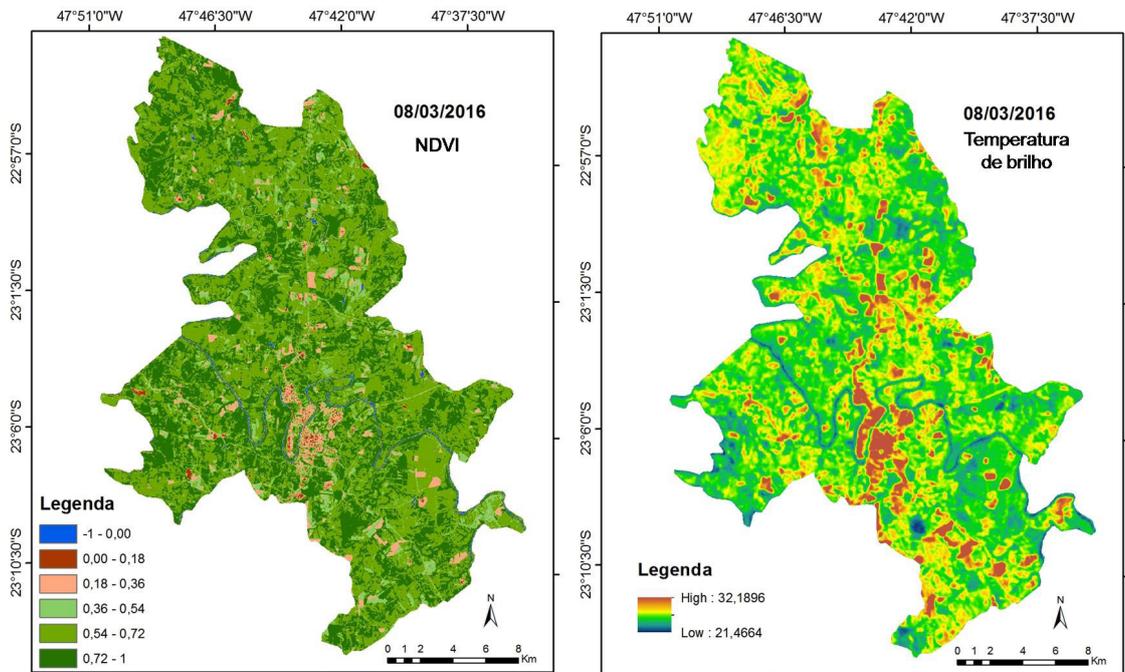


Figura 4. NDVI e Temperatura de Brilho na APA Tietê referente à 08/03/2016.

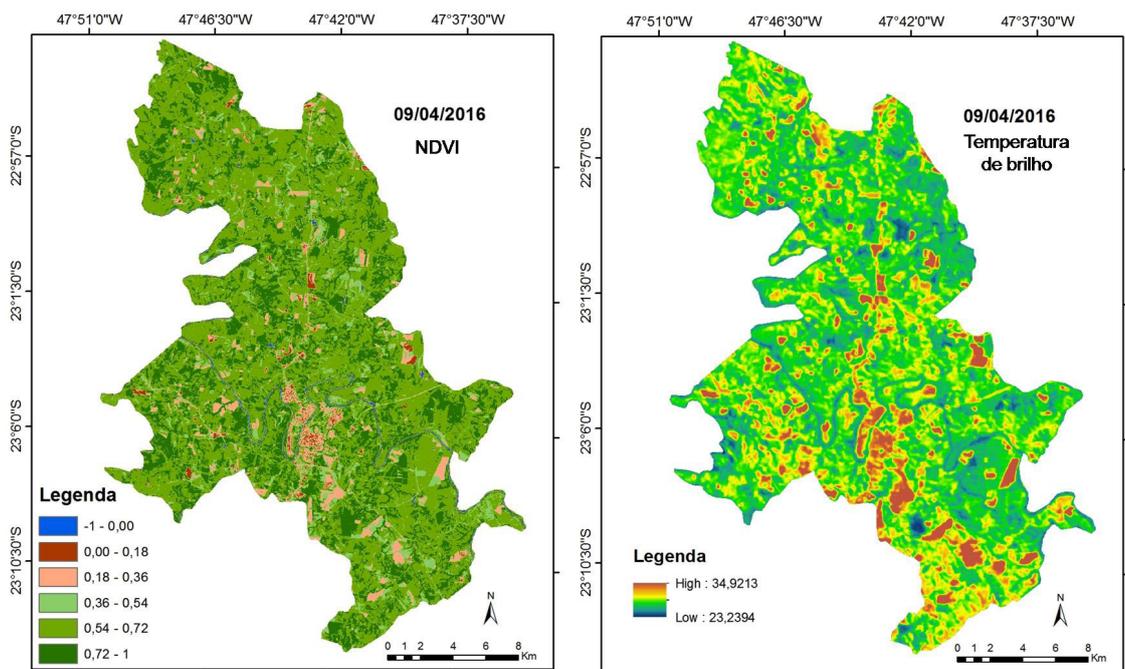


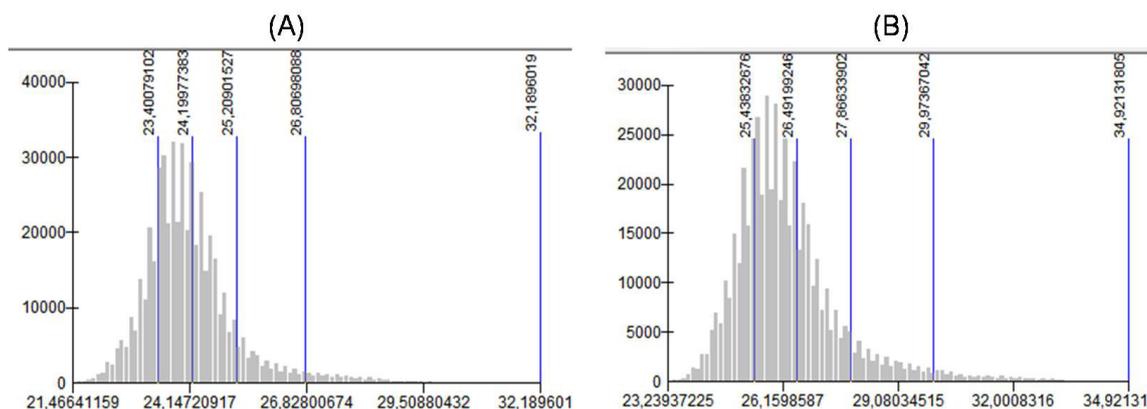
Figura 5. NDVI e Temperatura de Brilho na APA Tietê referente à 09/04/2016.

Nas imagens do NDVI referente aos meses de março e abril a classe 00 - 0,18 foi representada na maior parte por área urbana. Já na classe 0,18 - 0,36 destaca-se a presença de solo exposto. Ambas as áreas onde essas classes se encontram apresentaram um valor de temperatura de brilho mais elevado.

As classes 0,36 - 0,54 e 0,54 - 0,72 foram representadas por áreas agrícolas, diferenciando-se pelos tipos de usos agrícolas. Essas classes apresentaram valores médios de temperatura de brilho. Já a classe 0,72 - 1 representa áreas formadas por vegetações mais densas obtendo valores de temperatura de brilho mais baixo.

Nas imagens termais também foi possível identificar alguns corpos d'água, que também foram representados por valores baixos de temperatura de brilho.

Na Figura 6 são apresentados os gráficos com a distribuição dos valores de temperatura de brilho para a área da APA. O gráfico (A) referente ao dia 08/03/2016 está distribuído entre as temperaturas de 21,4 °C a 32,1°C, estando a maior parte da área da APA concentrada nas temperaturas de 23,5 °C a 24 °C. Já no gráfico (B), referente ao dia 09/04/2016, a distribuição dos valores de temperatura estão entre 23,2 °C a 34,9 °C, com concentração maior entre 25,4°C a 26,5°C.



**Figura 6.** Distribuição dos valores de temperatura de brilho na área da APA Tietê. Gráfico (A) referente ao dia 08/03/2016 e gráfico (B) referente ao dia (09/04/2016).

## 4 | CONCLUSÕES

As análises realizadas por meio da metodologia proposta pelo USGS para as imagens termais do Landsat-8 junto ao NDVI possibilitaram a identificação do comportamento da temperatura de brilho desde áreas com vegetação mais densa até áreas com pouca ou nenhuma cobertura vegetal. Foi possível identificar por meio dos gráficos e mapas a distribuição da temperatura de brilho e em quais classes termais havia maior concentração. Além disso, a confiabilidade dos dados termais puderam ser verificados ao comparar a temperatura obtida nas estações meteorológicas com as temperaturas de brilho obtidas nas imagens termais, tendo como ponto de análise os pontos de Piracicaba e Sorocaba, sendo estas as mais próximas da APA Tietê.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) - Advanced Training and Users Manual**. Idaho Implementation, version 1.0, 2002, 98p.
- COELHO, A.L.N. **Temperatura de Superfície Celsius do Sensor TIRS/LANDSAT-8: Metodologia e Aplicações**. Rev. Geogr. Acadêmica, v.7, n.1, p. 31-45, 2013.
- FU, P.; WENG, Q. **A time series analysis of urbanization induced land use and land cover change and its impact on land surface temperature with Landsat imagery**. Remote Sensing of Environment. v.175, p. 205-214, 2016.

FUNDAÇÃO FLORESTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Área de Proteção Ambiental Tietê**. Disponível em: < <http://www.ambiente.sp.gov.br/apa-tiete/>> Acesso em 2 de julho de 2016.

HANTSON, S.; PADILLA, M.; CORTI, D.; CHUVIECO, E. **Strengths and weaknesses of MODIS hotspots to characterize global fire occurrence**. Remote Sensing of Environment, v.131, n.1, p. 152-159, 2013

LOARIE, S. R.; LOBELL, D. B.; ASNER, G. P.; MU, Q.; FIELS, C. B. **Direct impacts on local climate of sugar-cane expansion in Brazil**. Nature Climate Change 2011, 1, 105–109.

MATAVELI, G. A. V.; OLIVEIRA, B. S.; PEREIRA, G.; MORAES, E. C.; CARDOZO, F. S. **Dinâmica dos focos de queimada em cana-de-açúcar no estado de São Paulo entre 2008 e 2011**. RBC. Revista Brasileira de Cartografia, v. 66, n. 2, p. 379-392, 2014.

MU, QIAOZHEN; ZHAO, MAOSHENG; RUNNING, S.W. **Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm**. Remote Sensing of Environment, p.1781-1800, 2011.

TASUMI, M.; ALLEN, R. G.; TREZZA, R. **At-surface reflectance and albedo from satellite for operational calculation of Land surface energy balance**. Journal of Hydrologic Engineering, v. 13, n. 2, p. 51-63, 2008.

USGS (United States Geological Survey). **Using the USGS Landsat 8 Product**. Disponível em:< [https://landsat.usgs.gov/Landsat8\\_Using\\_Product.php](https://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php)> . Acesso em: 30 de junho de 2016.

## UTILIZAÇÃO DE IMAGENS CCD-CBERS-2B NA ANÁLISE DOS ALINHAMENTOS GEOLÓGICOS DA PROVÍNCIA PEGMATÍTICA BORBOREMA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE

**Paulo Sérgio de Rezende Nascimento**

Universidade Federal de Sergipe, Departamento  
de Engenharia Ambiental  
Aracaju - Sergipe

**RESUMO:** Os alinhamentos geológicos refletem as características estruturais de subsuperfície. Essas características são essenciais para os estudos de geologia econômica e são facilmente visualizadas e interpretadas em imagens de satélite. O presente trabalho tem como objetivo a extração e análise dos lineamentos e lineações de relevo e drenagem, utilizando as imagens CCD-CBERS-2B, visando entender o controle estrutural metalogênico na escala de 1:50.000 do Mapa Topográfico de Currais Novos. Esta área encontra-se na parte centro-sul da Mesorregião Central Potiguar, caracterizada economicamente pela mineração, atividade geralmente relacionada ao controle estrutural. As etapas do trabalho foram: criação de um Banco de Dados Georreferenciado; restauração de imagem; transformação por componente principal; extração de alinhamentos de relevo e drenagem; e diagrama de roseta. Após extraídas, as lineações e lineamentos foram interpretados como possíveis sistemas de fraturamento. O estudo das propriedades de alinhamentos caracteriza as zonas homólogas, que indicam diferentes domínios

geológico-estruturais, o que provavelmente influenciou a metalogênese das ocorrências minerais, devido ao controle estrutural. **PALAVRAS-CHAVE:** Alinhamento estrutural. Metalogênese. Processamento de imagens. Interpretação visual.

**ABSTRACT:** Geological alignments reflect the features of the subsurface. These features are essential for studies of economic geology and are likely to be interpreted on satellite images. The present study aims at extracting relief and drainage lineations and lineaments, using the CCD-CBERS-2B images aiming to analyze the structural control metallogenic in the scale of 1:50.000 of Currais Novos Topographic Map. This area is at the central-south part of the Mesoregion Central Potiguar, economically characterized by mining, activity usually related to structural control. The steps of the work were: creation of a georeferenced database; image restoration; transformation through main component; extraction of relief and drainage alignments; and rose diagram. After extracted, the lineations and lineaments were interpreted as possible fracture systems. The study of the properties of alignments characterizes the homologous zones, which indicate different geologic-structural domains, which probably influenced the metallogenesis of mineral occurrences, due to the structural control.

**KEYWORDS:** Structural alignment. Metallogenesis. Image processing. Visual interpretation.

## 1 | INTRODUÇÃO

As principais atividades econômicas do Estado do Rio Grande do Norte se concentram, principalmente, na extração e processamento de petróleo, produção de sal marinho, agropecuária, mineração, indústria de cerâmica e turismo. A região semiárida do Seridó possui grande potencial turístico, no entanto, as principais atividades econômicas são a agropecuária e a mineração, fato esse que possibilitou a formação de uma classe trabalhadora denominada de garimpeiros-agricultores. A agricultura de subsistência é atividade realizada durante o período chuvoso entre os meses de janeiro e abril e a garimpagem nos demais meses do ano. A mineração e a garimpagem se constituíram, ao longo das últimas décadas, numa importante fonte de sobrevivência para inúmeras famílias de baixa renda. Assim, o reconhecimento da importância dessas atividades para a região, sobretudo no aspecto social, contribuiu para absorver grande contingente de mão de obra ociosa.

A área de estudo desse trabalho localiza-se na porção centro-sul da Mesorregião Central do semiárido do Estado do Rio Grande do Norte, delimitada pelos paralelos 6°00' a 6°30' de latitude Sul e pelos meridianos 37°00' a 36°30' de longitude Oeste (Figura 1), na região geológica conhecida como Província Pegmatítica Borborema. Nesta província geológica, a produção mineral é de grande importância geoeconômica nacional, regional e local. O acesso à área pela cidade de Natal é feito através da BR 227 e da RN 086. Compreende uma área de 3.064 km<sup>2</sup>, abrangendo 13 municípios potiguares: Acari, Bodó, Caicó, Carnaúba dos Dantas, Cruzetas, Currais Novos, Santa dos Matos, São José do Seridó, São Vicente e Tenente Laurentino Cruz e um município paraibano, Frei Martinho.

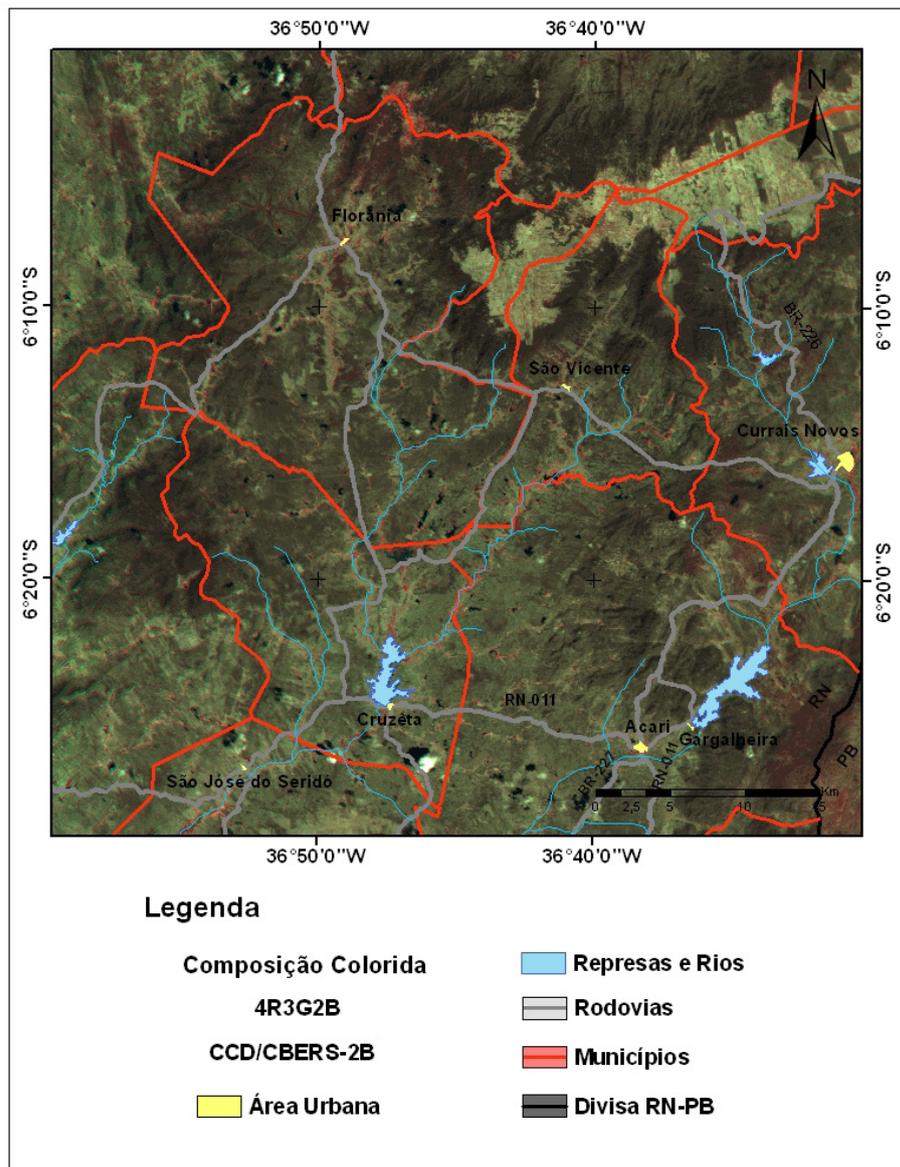


Figura 1: Mapa de localização e acesso à área de estudo.

A mineração na área de estudo é a principal atividade econômica decorrente da vasta gama mineralógica associada aos corpos pegmatíticos, aos demais litotipos e ao controle estrutural. Este controle geológico é advindo da configuração atual definida durante o Ciclo Brasileiro. As feições estruturais decorrentes desse evento geológico são visíveis nos produtos sensoriados remotamente pelas lineações e lineamentos geológicos.

As definições de lineações e lineamentos no contexto geológico são importantes para o entendimento do presente trabalho. O'Leary et al. (1976) define as lineações e lineamentos como alinhamentos estruturais unidimensionais de componentes internos de uma rocha que é exposta a agentes externos. Os componentes que compõem a lineação e o lineamento têm um intervalo de alcance que vai do microscópico ao megascópico e que em qualquer caso, os componentes são partes estruturais distintas e integrais da rocha, não simplesmente características da superfície. Shahabpour (1999) classificou os alinhamentos em principais, intermediários e inexpressivos. Adotou-se nesse trabalho a

classificação de Peter et al. (1986), de acordo com os autores, as lineações são pequenas feições relíneas e/ou curvilíneas de pequenos comprimentos e os lineamentos de maiores comprimentos, ambos visíveis em imagens de satélite.

A análise estrutural de dados de sensoriamento remoto fornece um método de seguro e rápido de avaliar o significado estrutural da metalogênese regional (MIZABABAEI et al., 2016). A análise sistemática morfoestrutural e morfotectônica originou dos estudos desenvolvidos para a interpretação de fotografias aéreas, inicialmente estabelecido por Guy (1966). Os alinhamentos geológicos que expressam os processos morfogênicos estruturais e tectônicos são fotointerpretados como lineações e lineamentos de relevo e de drenagem, feições marcantes em imagens orbitais (VENEZIANI; ANJOS, 1982). Os elementos de relevo e drenagem nas imagens são as menores superfícies contínuas e homogêneas e passíveis de repetição. Esses elementos quando fortemente estruturados são interpretados como estruturas geológicas. Dessa forma, essas estruturas geológicas seguem os conceitos de qualquer feição natural linear ou curvilínea mapeável da superfície terrestre que podem estar relacionadas às falhas, fraturas, xistosidades ou contatos litológicos.

De acordo com CPRM (2006), foram identificadas 118 ocorrências minerais na Folha Currais Novos (SB-24-Z-B-II, escala 1:100.000): scheelita - 47; mármore - 25; berilo/água-marinha - 11; rocha ornamental - 6; barita - 5; ferro - 4; columbita-tantalita - 3; talco - 3; areia - 3; argila - 2; granada - 2; feldspato - 2; amianto - 2; urânio - 1; enxofre - 1 e zircão - 1. Essas ocorrências representam 6% do total cadastrados no Rio Grande do Norte. Os estudos metalogenéticos são guias prospectivos de novas ocorrências, destacando aquelas relacionadas às intrusões de suítes de corpos graníticos brasileiros na área de estudo. Os lineamentos principais são zonas de cisalhamento transcorrentes de direções principais E-W e NNE. O conhecimento mais detalhado do controle estrutural metalogenético das ocorrências minerais é de grande importância na descoberta de novas jazidas minerais, conseqüentemente, ao desenvolvimento socioeconômico local e estadual.

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi a extração e a análise dos alinhamentos de relevo e de drenagem, utilizando imagens do sensor CCD do satélite CBERS-2B para entender o controle estrutural relacionado aos processos metalogenéticos da Folha Topográfica Currais Novos, na escala de 1:50.000; cujos produtos cartográficos nessa escala são escassos ou inexistentes no semiárido potiguar.

## **2 | MATERIAL E MÉTODO**

Os materiais utilizados para a extração das lineações e lineamentos de relevo e drenagem foram: Carta Topográfica de Currais Novos na escala 1:100.000 (SB-24-Z-B-II); imagens orbitais CCD-CBERS-2B (órbita/ponto 148/107 datada de 23/02/2008) sem cobertura de nuvens; e o programa computacional de geoprocessamento SPRING

(Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas). As etapas de operacionalização realizadas para atingir o objetivo desse trabalho corresponderam: criação do Banco de Dado Georreferenciado (BDG); Restauração e Registro das imagens; Transformação por Principais Componentes; Extração Manual das Lineações e Lineamentos de Relevo e Drenagem; e Análise Exploratória e Filtragem das Lineações e Lineamentos.

No SPRING, o ambiente de trabalho é organizado de acordo com o esquema conceitual associado às entidades do BDG, indicando para cada tipo de dado geográfico (dado espacial) os seus atributos não espaciais (dados alfanuméricos) e as representações geométricas associadas, ou seja, a definição da estrutura do banco precede a entrada dos dados (CÂMARA et al., 1996). Para se operar no SPRING é necessário definir o esquema físico em que o dado será inserido. Isso significa definir um Banco de Dados, um Projeto, as Categorias e os Planos de Informação (CÂMARA; MEDEIROS, 1996). Nesse sentido, o banco de dados se caracteriza por ser abrangente, pois as informações a serem armazenadas podem ser úteis para outras pesquisas que utilizem total ou parcialmente, os mesmos tipos de informações.

A escala 1:50.000 é a mais adequada para a extração (fotoanálise) de lineações e lineamentos de drenagem ou de relevo em imagens de satélite, pois escalas maiores podem mascarar os grandes alinhamentos e as menores, as pequenas lineações. A elevação solar é outro fator determinante para a identificação dessas feições geológicas. Assim, quanto menor for o ângulo de elevação solar, maior será o sombreamento, formando o elemento fotointerpretativo par luz-sombra, essencial para a visualização dos alinhamentos geológicos estruturais. A superfície em posição perpendicular à incidência da radiação fornece melhor realce de elementos morfoestruturais do relevo, facilitando o registro de lineamentos (QUEIROZ et al., 2000).

## 2.1 Banco de Dado Georreferenciado (BDG)

Tanto o BDG quanto o projeto foram denominados de Currais Novos com gerenciador SQLite, na projeção UTM/SIRGAS-2000 com meridiano central 24° Oeste, cujo retângulo envolvente da área de estudo possui as coordenadas plano-retangulares:  $X_{min} = 721094$  metros,  $X_{max} = 776884$  metros e  $Y_{max} = 9281031$  metros e  $Y_{min} = 9336269$  metros. Apesar da escala da base topográfica adotada ser de 1:100.000, as fotoestruturas geológicas, interpretadas a partir das lineações e lineamentos de relevo e drenagem, foram geradas na escala de 1:50.000, proporcionados pelos procedimentos de restauração de imagens, com resolução espacial dos Planos de Informação (PIs) de 10 metros por 10 metros (SILVA, 2003).

## 2.2 Restauração das imagens

As bandas 2, 3 e 4 das imagens CCD-CBERS-2B passaram pelo procedimento de restauração para a correção radiométrica e aumento dos tamanhos dos pixels para

10m por 10m, obtendo uma imagem realçada e com o dobro da resolução espacial das imagens originais. Esse procedimento foi realizado em um projeto sem projeção cartográfica para garantir que as mesmas não fossem reamostradas e perdessem suas características originais antes do processo, pois o filtro de restauração é específico, ou seja, de acordo com as características do sensor. Além disso, os dados originais são fundamentais para a interpretação dos alvos terrestres (NOVO, 2011).

### 2.3 Registro das imagens

Após o procedimento de restauração, as imagens foram registradas ou georreferenciadas para estabelecer uma relação entre as coordenadas linhas e colunas da imagem e as coordenadas geográficas da carta topográfica e inseridas no banco de dados. Tomou-se o cuidado na escolha dos pontos de controle, esses pontos foram espaçados por toda a imagem para evitar distorções e bem definidos tanto na imagem quanto na carta topográfica para se obter uma precisão de acordo com o padrão de Exatidão Cartográfica Planimétrica Estabelecido (BRASIL, 1996), que no presente trabalho foi de 0,2 pixel.

### 2.4 Transformação por Componente Principal

Esse procedimento visou à redução da dimensionalidade dos dados e a remoção da redundância de informações, mas, sobretudo, a concentração da informação topográfica total no primeiro principal componente  $PC_1$  (MENESES; ALMEIDA, 2012), sendo, assim, o componente ideal para atingir o objetivo do trabalho, proporcionando maior visualização das estruturas lineares e curvilíneas de relevo e drenagem. As imagens PCs foram geradas a partir das bandas 2, 3 e 4 do sensor CCD do satélite CBERS-2B, pois a banda 1 apresentava muitos ruídos e foi descartada. Posteriormente, a banda monocromática  $PC_1$  foi realçada por contraste linear, que destacou ainda mais as lineações e lineamentos de drenagem e relevo.

### 2.5 Extração das lineações e lineamentos de drenagem e relevo

O procedimento metodológico adotado para a extração das lineações e lineamentos foi a fotoleitura, que é o reconhecimento e identificação dos elementos das imagens com os objetos correspondentes e sua repartição (SOARES; FIORI, 1976). Esse procedimento é baseado no processo sistemático e lógico de fotointerpretação de imagens de satélites, cuja premissa é que são passíveis de identificação através de produtos de sensoriamento remoto (VENEZIANI; ANJOS, 1982; LIMA, 1995). Para a extração desses alinhamentos geológicos utilizou-se a banda monocromática Principal Componente  $PC_1$ .

## 2.6 Análise exploratória e filtragem das lineações

Os resultados das análises exploratórias são apresentados em relatórios, que fornecem o número total de lineações e lineamentos, juntamente com seu comprimento total e médio. Outra forma de apresentação dos resultados é por gráficos, assim, os elementos texturais de relevo e drenagem foram analisados por diagrama de roseta, agrupados em intervalos de 10° (concentração relativa). A filtragem das lineações permitiu subdividir as lineações em quatro faixas angulares previamente definidas: N-S, E-W, NE-SW e NW-SE. Esse procedimento permitiu analisar os principais *trends* direcionais e defini-los como prováveis direções para o acúmulo de minerais de interesse econômico (NASCIMENTO, 2003).

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 2 e 3 apresentam as lineações de relevo e drenagem, respectivamente, sobrepostas à imagem Principal Componente PC<sub>1</sub>, sobre a qual essas feições foram extraídas. O total de lineações extraídas foi de 7.671, com 2.060 lineações de drenagem e 5.611 lineações de relevo. Essas direções das lineações de drenagem e relevo são apresentadas por cores diferentes, facilitando tanto a análise das principais direções, quanto a visualização dessas direções. Esse procedimento foi possível pela técnica de filtragem das lineações, rotina disponível no SPRING.

As direções de lineações de drenagem foram definidas em quatro grupos, a saber: (i) N20-70E; (ii) N20-70W; (iii) N70-90E e N70-90W; e (iv) N20E a N20W. O total de lineações para cada grupo foi de 762, 577, 515 e 206, respectivamente. O primeiro e o segundo grupos possuem duas direções principais N50-60E, N30-40E, N60-70W e N20-30W. As direções ortogonais N50-60E/N20-30W e N30-40E/N60-70W indicam um controle estrutural muito forte, principalmente se unirmos também as direções perpendiculares N-S e E-W, mais incipientes, porém não menos significativas geologicamente.

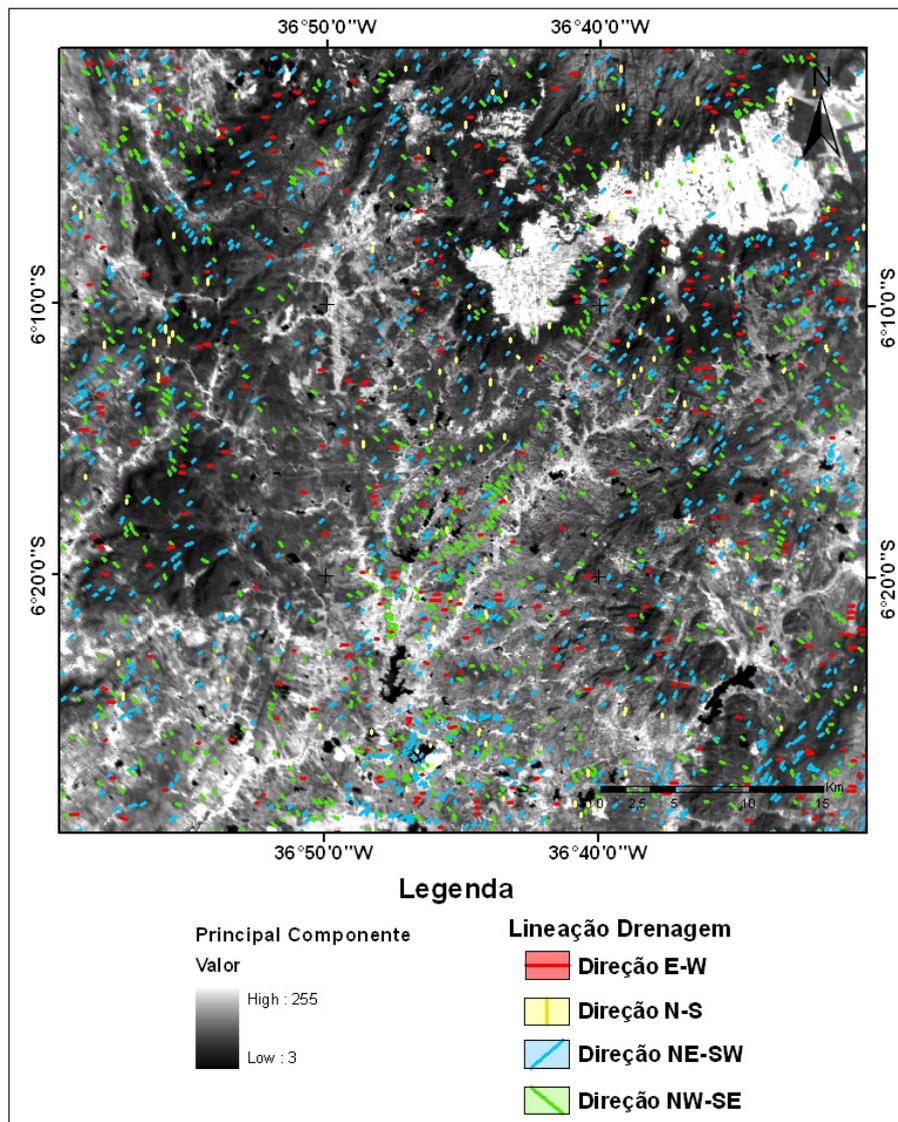


Figura 2: Fotomapa de lineações de drenagem.

Ao analisar as lineações de relevo, é nítida a estruturação tectônica da área de estudo, a qual está em concordância com as zonas de cisalhamento transcorrente da geologia regional da Província Borborema (CPRM, 2006). Das 5.611 lineações de relevo, 2.525 lineações estão concentradas na direção N20-60E; 1.683, na direção E-W; 1.122 em N-S; e 280 em NW. Dessa forma, a grande quantidade de lineação de relevo na direção NE pode significar uma peculiaridade da estruturação tectônica da área de estudo com relação à estruturação tectônica regional, que é essencialmente E-W e N-S. Esse resultado pode significar que o controle metalogenético na área de estudo pode possuir uma particularidade que deve se investigada com trabalhos tradicionais de geologia de campo. É importante ressaltar que somente o contato direto com os afloramentos rochosos permite avaliar o verdadeiro significado geológico das feições extraídas de dados de sensoriamento remoto. Os produtos sensorizados remotamente possibilitam pré-avaliações, minimizando custos e maximizando tempo de trabalho de campo.

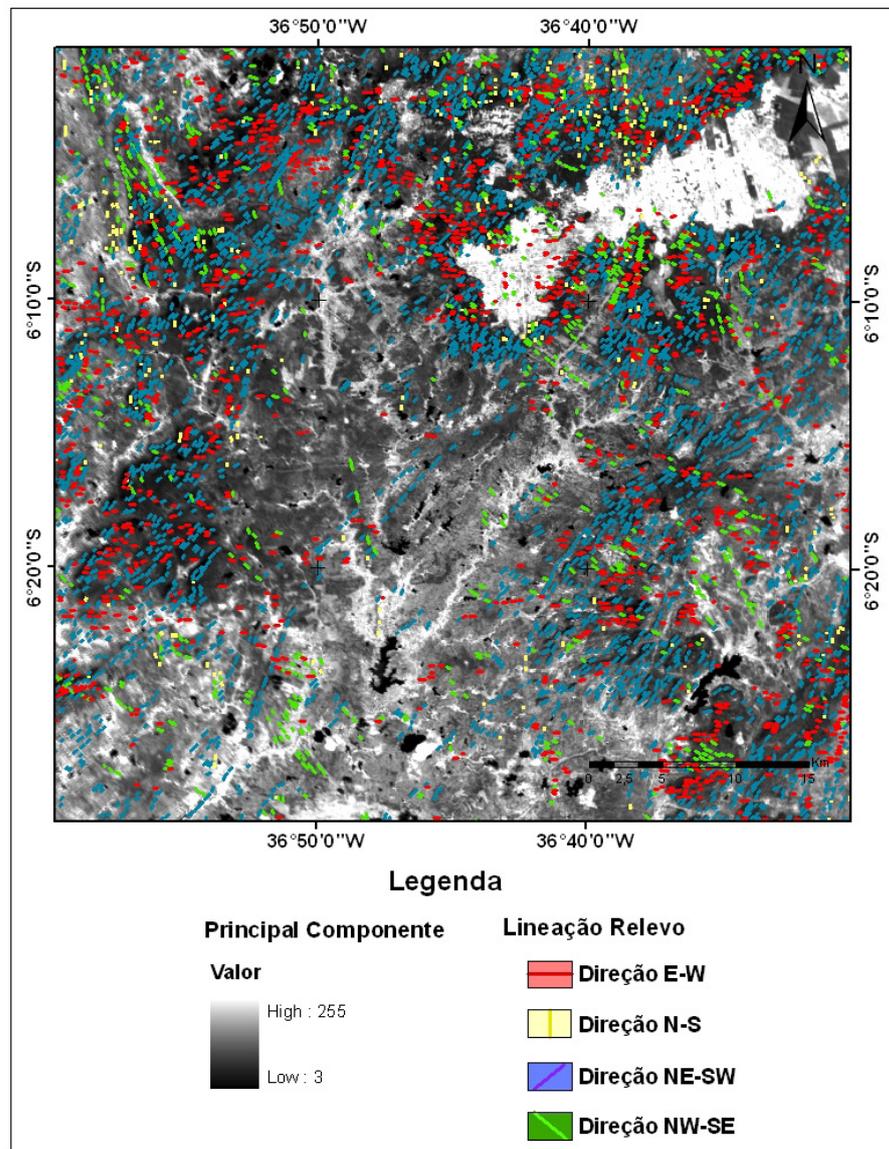


Figura 3: Fotomapa de lineações de relevo.

As principais direções das lineações de drenagem e de relevo evidenciam uma estruturação concordante com a tectônica regional da Província Pegmatítica e ao mesmo tempo, demonstram uma particularidades locais que podem ser visto na figura 4. Na Figura 4a, os principais *trends* das lineações de drenagem são nas direções NE-SW e NW-SE e secundariamente nas direções E-W e N-S, apesar das direções das lineações apresentarem uma certa distribuição homogênea. Na Figura 4b, nota-se que a direção preferencial das lineações de relevo é NE-SW, seguida da direção E-W e por fim, das direções N-S e NW-SE, sendo essa última muito incipiente.

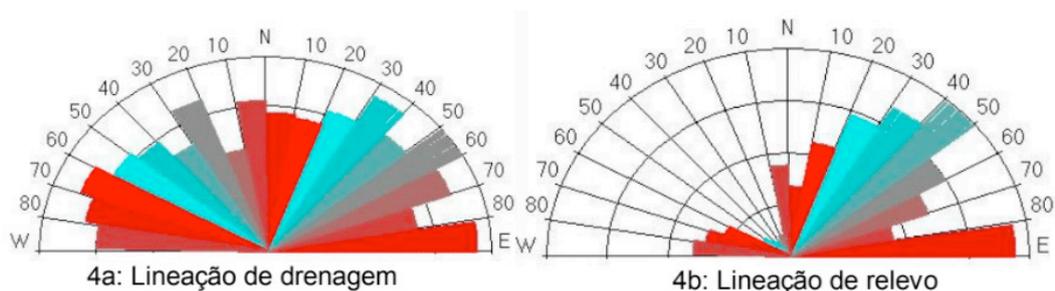


Figura 4: Diagrama de roseta de frequência absoluta das direções das lineações extraídas.

O forte controle estrutural da área de estudo é marcante e claramente visível ao sobrepor na composição colorida falsa-cor 4R/3G/2B das imagens CBERS-2B (Figura 5). Desse modo, na porção superior esquerda, as lineações de drenagens NE são cortadas pelas lineações de relevo NNW. Essas lineações provocaram o encurvamento das lineações NE, que também pode ser observado nas porções inferior esquerda e direita, e superior direita da área de estudo. Nessas porções, a densidade das lineações de relevo NNW é menos significativa, no entanto, o encurvamento das estruturas é marcante. Por outro lado, na porção central, não há evidência da interferência das lineações de relevo NNW, o que explica a sua baixa frequência absoluta (Figura 4b). Dessa forma, pode-se supor um controle rúptil nessa porção e com influência pouco significativa das lineações de relevo NW; em oposição ao comportamento dúctil a rúptil-dúctil e forte influência nas demais porções da área de estudo. Esse controle estrutural é mais bem compreendido ao extrair e interpretar os lineamentos (Figura 6).

Os lineamentos curvilíneos foram aqui interpretados como sistemas de dobramentos (ambiente dúctil), cujos eixos indicam concordância com sistemas de fraturamentos de direções, preferencialmente, NNE e NE, secundariamente, NW. Essa direção também foi interpretada como uma particularidade da área de estudo, pois como já descrito, as zonas de cisalhamento transcorrente regional possuem direções preferenciais E-W e N-S.

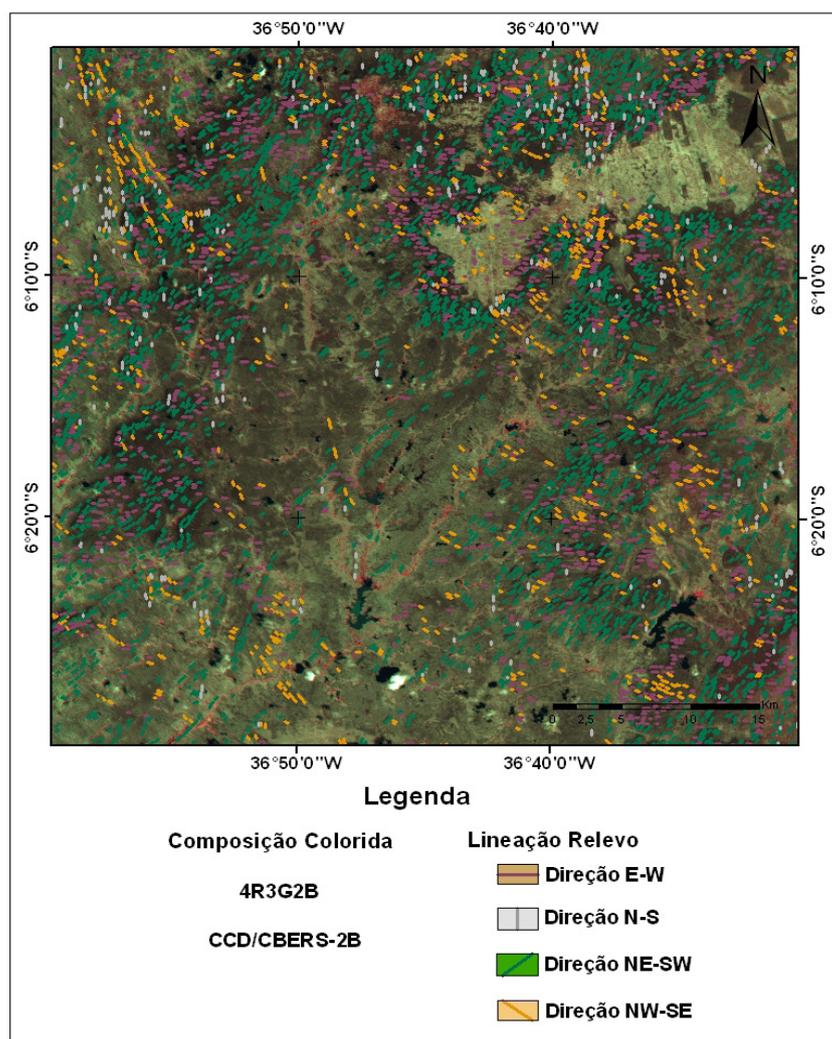


Figura 5: Fotomapa de lineações de relevo e de drenagem.

Ainda não é possível afirmar, mas provavelmente, os regimes dúcteis são mais antigos que os rúpteis, pois esses, em muitos locais, cortam aqueles. As direções NW e NE podem estar relacionadas por movimentos crustais mais recentes (neotectônica), com reativação de antigas estruturas e formando outras novas estruturas. Essa interpretação ou qualquer afirmação neste sentido necessita de verificação em campo. Essa verificação é essencial para analisar se o controle estrutural da área interferiu na geração dos depósitos minerais, como também para elaborar o arcabouço estrutural geológico da área de estudo. Nesse sentido, os resultados obtidos pela análise dos alinhamentos geológicos nas imagens CBERS-2B, especificamente, a primeira principal componente  $PC_1$ , otimizará o tempo e minimizará o custo do trabalho de campo. Este visa realizar a primeira etapa da prospecção e pesquisa mineral, isto é, seleção de áreas promissoras ao jazimento mineral.

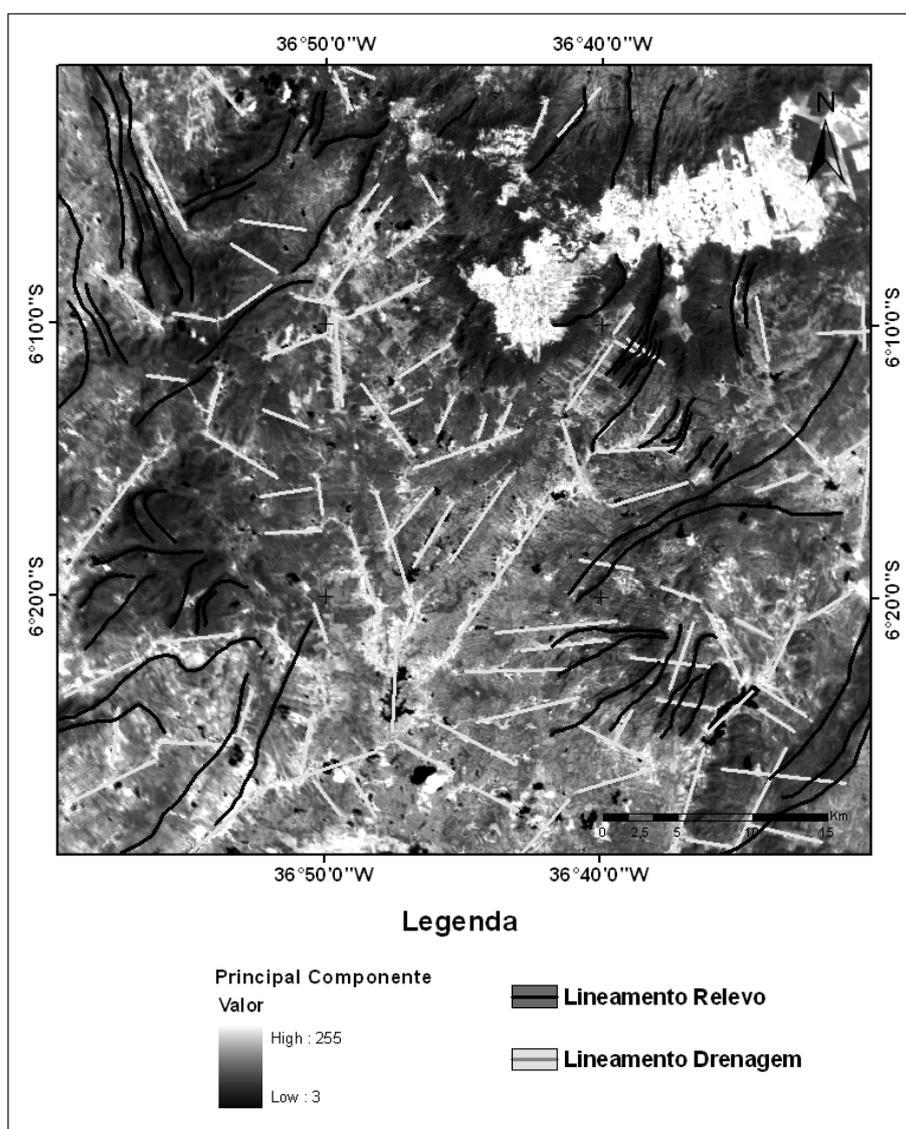


Figura 6: Fotomapa de lineamentos de relevo e de drenagem.

## 4 | CONCLUSÕES

A extração dos alinhamentos geológicos da primeira principal componente PC<sub>1</sub> das imagens CBERS-2B restauradas para 10mx10m permitiu a elaboração dos fotomapas de lineações e lineamentos de relevo e de drenagem da área de estudo na escala 1:50.000. A identificação das feições texturais lineares e curvilíneas baseou-se nos critérios com conotação geológica, refletindo o comportamento geoestrutural das litologias. A análise dos fotomapas de lineações e lineamentos retilíneos e curvilíneos apresentaram um forte relacionamento com o controle metalogenético na área de estudo, pois associados e/ou superpostos a eles ocorrem variações tanto na porosidade como na permeabilidade, importantes em estudos sobre circulação de fluidos em corpos rochosos e consequente precipitações, formando jazidas minerais.

As feições circulares podem ser interpretadas como ter sido formadas devido ao desenvolvimento dos pontos extensional locais perto da interseção das estruturas lineares em um ambiente regional, tectônico e compressivo. A análise dos fotoalinhamentos geológicos definiu regiões promissoras de jazimentos minerais através da identificação do controle estrutural regional E-W e N-S; e de uma provável estruturação neotectônica local perpendicular NE e NW, principalmente onde as estruturas lineares transectaram as estruturas curvilíneas.

## REFERÊNCIAS

BRASIL, Ministério da Ciência e Tecnologia e Comissão de Cartografia. **Cartografia e aerolevanteamento – legislação**. Brasília, 1996. p.26-27.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. São José dos Campos: INPE, 1996. 139p.

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. C. P. **SPRING: integrating remote sensing and GIS with object-oriented data modelling**. Computer and Graphics. v.15, n.6, p.13-22, 1996.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte**. Escala 1:500.000. Texto explicativo dos mapas geológico e de recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte. Recife: CPRM/SEDEC-RN/FAPERNA, 2006, 119p.

GUY, M. **Quelques principes e quelques experiences sur la methodologie de la photo-interpretation**. In: SYMPOSIUM INTERNATIONAL DE PHOTO-INTERPRETATION, 2, 1966, Paris. Acte... Paris, 1966. Papers, p.21-41.

LIMA, M. J. C. **Introdução à interpretação radargeológica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1995, 124p.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UnB, 2012. 276p.

MIZABABAEI, G; SHABAHPAIR, J.; ZARASVARDE, A.; HAYATOLGHEYB, S. M. **Structural controls on Cu metallogenesis in the Dehaj área, Kerman Porphyry Copper Belt, Iran: a remote sensing perspective**. Journal of Sciencies, v.2, n.3, p. 253-267, 2016.

NASCIMENTO, P. S. R. **Análise de lineamento da rede de drenagem da Sub-bacia do Baixo Piracicaba no Estado de São Paulo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 42., 2004, Araxá. Anais... São Paulo: SBG, 2004. Resumos. p184.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2011, 376p.

O'LEARY, D. W.; FRIEDMAN, J. D.; POHN, H. A. **Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms**. Geological Society of America Bulletin, v.87, n.10, 1976, p. 1463-1469.

PETER, K. D.; KOLM, K. .; DOWNEY, J. S.; NICHOLS, T. C. **Lineaments: significance, criteria for determination and varied effects on groundwater systems – A case history in the use of remote sensing**. Geotechnical applications of remote sensing and remote data transmission, v.6, n.37, p. 46-68, 1986.

QUEIROZ, C.L.; MENESES, P.R.; JOST, H. **Lineamentos em imagens de sensores remotos e seu significado estrutural nos terrenos granito-geenstone belt de Crixás (GO)**. Revista Brasileira de Geociências, v. 30, n. 4 p. 655- 662, 2000.

SHAHABPOUR J. **The role of deep structures in the distribution of some major ore deposits in Iran, NE of the Zagros Thrust Zone**. J. Geody, v.28, p. 237–250 (1999).

SILVA, A. B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas: Editora da Unicamp, 2003, 236p.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. **Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia**. Notícias Geomorfológicas, v. 6, n.32, p.71-104, 1976.

VENEZIANI, P.; ANJOS, C. E. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1982. 54 p. (INPE-2227-MD/014).

## **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 978-85-85107-54-3



9 788585 107543