

# 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>

## 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.

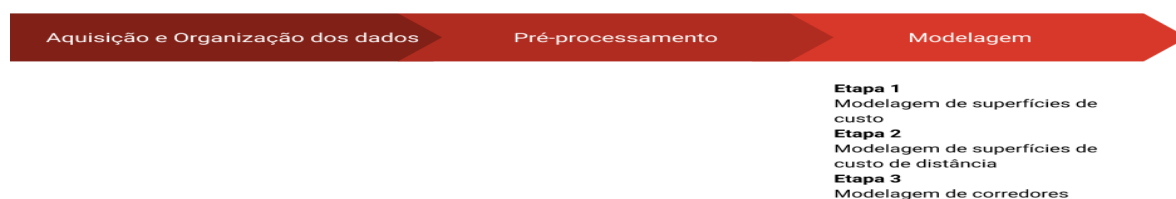


Figura 1. Fluxograma metodológico do trabalho

### 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 Projecção/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.

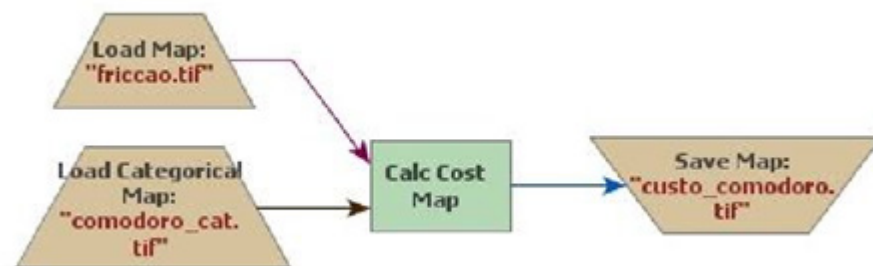


Figura 3. Estrutura do modelo de cálculo das superfícies de custo de distância no ambiente do *software* Dinamica EGO (exemplo para a distância do município de Comodoro).

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.

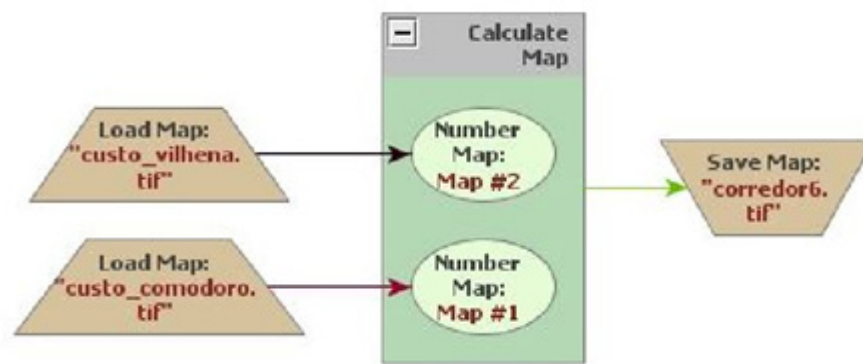


Figura 4. Estrutura do modelo de cálculo do corredor ótimo no ambiente do software

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.

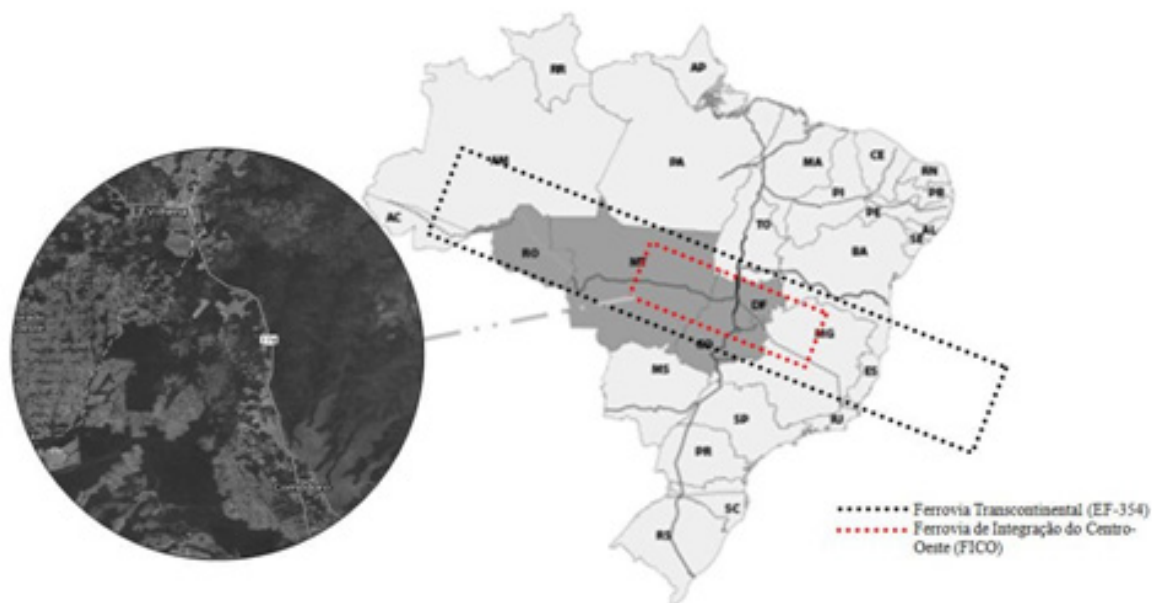


Figura 5. Mapa de localização da área de estudo.

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.

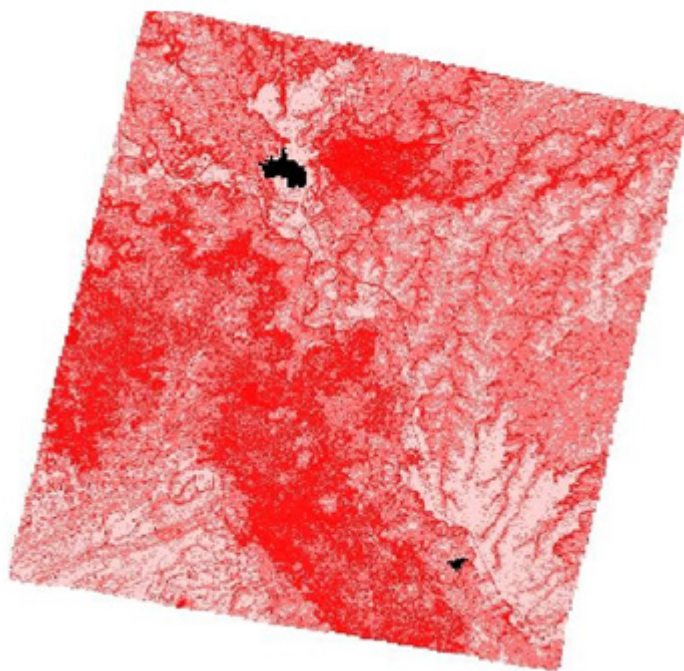


Figura 6. Mapa de custo de superfície resultante da modelagem do cenário 3.

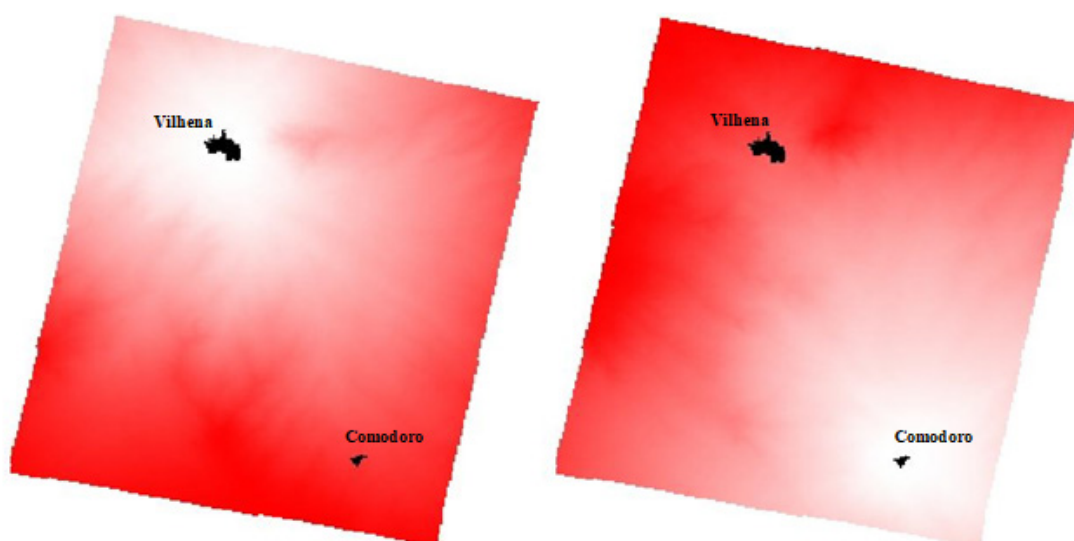


Figura 7. Mapas de custo de distâncias resultante da modelagem do cenário 3. À Esquerda referente ao município de Vilhena/RO e à direita ao município de Comodoro/MT.

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.

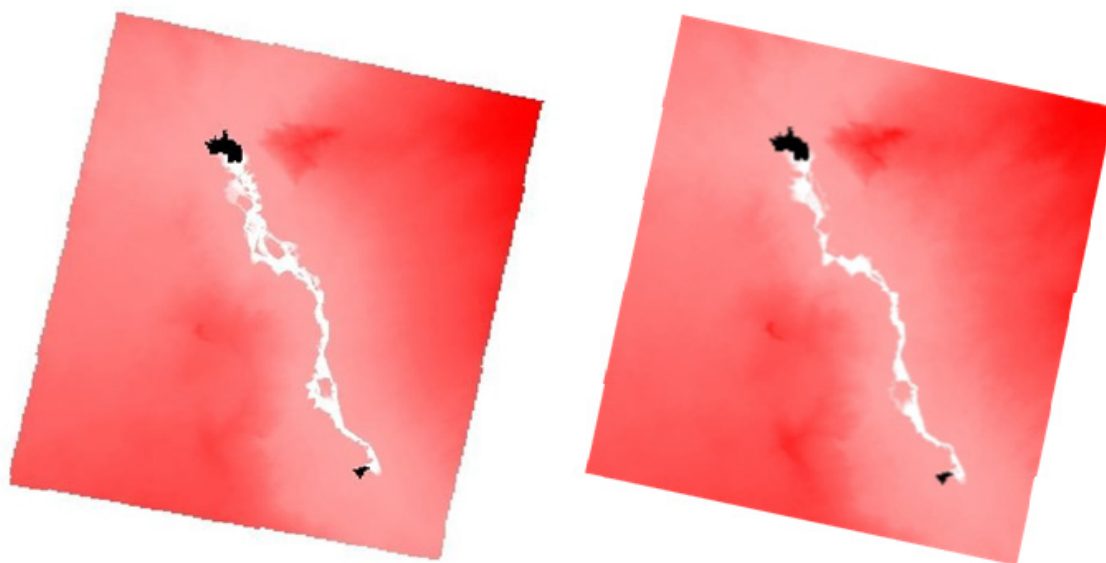


Figura 8. Corredores ótimos resultantes do modelo, cenários 1 (à esquerda) e 2 (à direita).

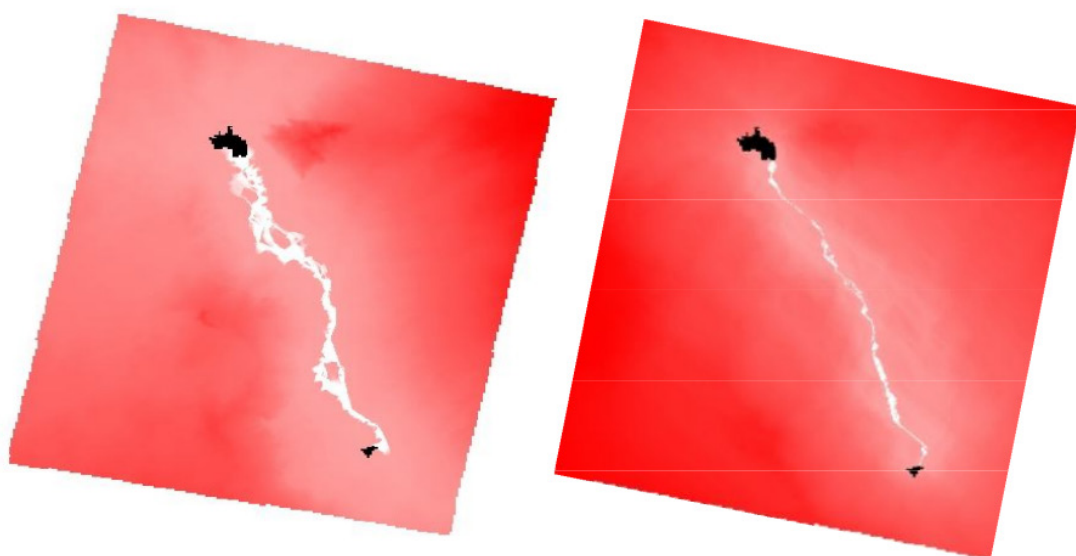


Figura 9. Corredores ótimos resultantes do modelo, cenários 1 (à esquerda) e 3 (à direita).

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

## **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