

## **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 Araujo <sup>1,2</sup>

Jefferson William Lopes Almeida <sup>1</sup>

Ítalo Sousa de Sena <sup>1</sup>

Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG/IGC

Av Antonio Carlos, 6.627, Pampulha -31270-901 – Belo Horizonte - MG, Brasil

felnab@gmail.com, jeffersonlopesalmeida@gmail.com, italosen@gmail.com,

raanobrega@ufmg.br

<sup>2</sup> Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA

Caixa Postal 09566 – 70818-900 – Brasília - DF, Brasil

felipe.araujo@ibama.gov.br

**Abstract.** One of the big challenges faced by transportation planning in Brazil is the use of outdated methods to deal with large number of variables and policies. Traditional methods still in use by transportation practitioner were designed decades ago, and present limited capacity to perform optimal deliverables due to the today's complexity of the variables and the 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. Nowadays, the availability of free data and free tools amplify even more the potential of GIS modeling to solve problems in 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. First, a general cumulative cost surface was computed from the multicriteria analysis, and then two cost distance maps from Comodoro/MT and from Vilhena/RO computed to support the corridor analysis. The modeling was performed at three different scenarios. Each scenario correspond to a set of weight for the variables - sensitivity analysis. 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.

**Palavras-chave:** remote sensing, modeling, transportation corridors, railways, sensoriamento remoto, modelagem, corredores de transporte, ferrovias.

### **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 (Christofoletti, 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 disponibilidade 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 Dinâmica EGO na modelagem de corredores ótimos para instalação de empreendimento 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. Materiais e métodos**

### **2.1. 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 estruturadas 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 quadriculas 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.

### **2.2. 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., 2009).

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 (Filho et al, 2009). 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 1, sabendo-se que a declividade está representada em graus e que *i2* 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 1. 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 2.

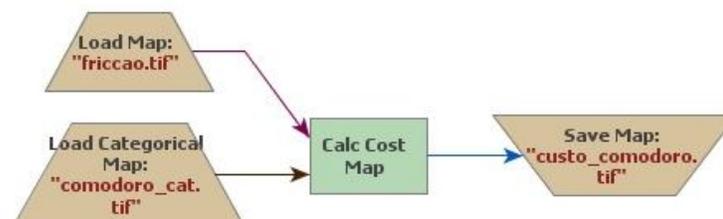


Figura 2. Estrutura do modelo de cálculo das superfícies de custo de distância no ambiente do *software* Dinâmica EGO (exemplo para a distância do município de Comodoro).

- 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 3.

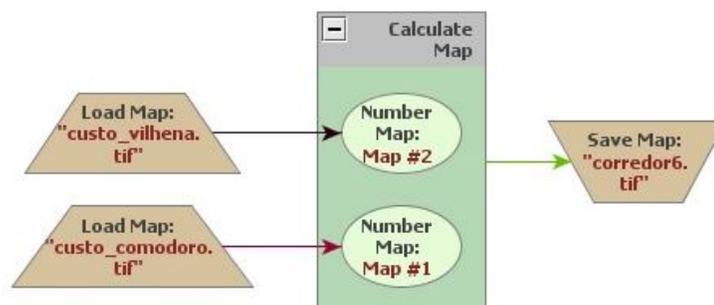


Figura 3. Estrutura do modelo de cálculo do corredor ótimo no ambiente do software Dinâmica EGO

Para a verificação proposta neste estudo, optou-se por utilizar seis variáveis de entrada, conforme detalhado na tabela 1.

Tabela 1. Variáveis de entrada utilizadas na modelagem

Variável	Formato dos dados e conceituação
Vegetação	Arquivo no fomato 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 fomato 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 fomato 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 Projto 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.

### 3. 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 4.

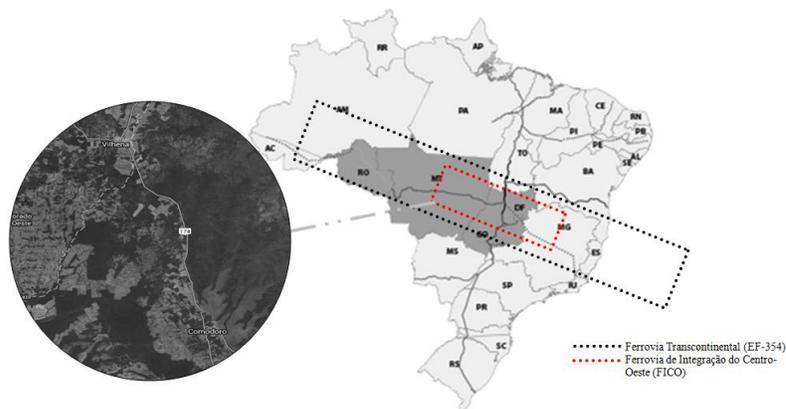


Figura 4: Mapa de localização da área de estudo.

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 Nobrega et al (2009).

#### 4. 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.

Tabela 2. Pesos das variáveis de entrada utilizados nos cenários considerados na modelagem

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

Obteve-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 5 apresenta, a título de exemplificação, o resultado do mapa de superfície de custo enquanto que a figura 6 o resultado dos mapas de custo de distâncias, ambas referentes ao cenário 3.

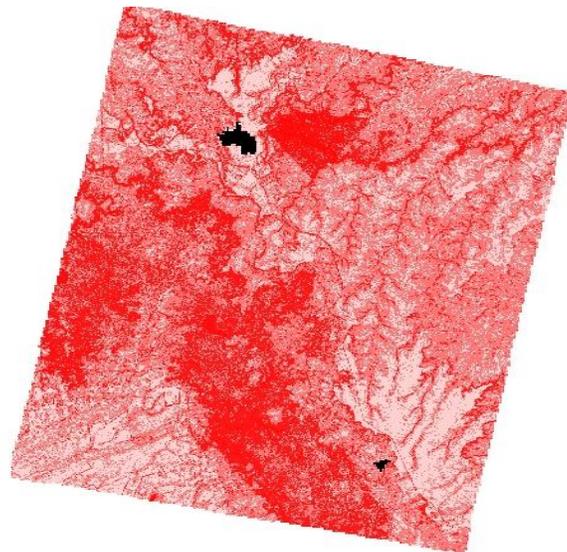


Figura 5. Mapa de custo de superfície resultante da modelagem do cenário 3.

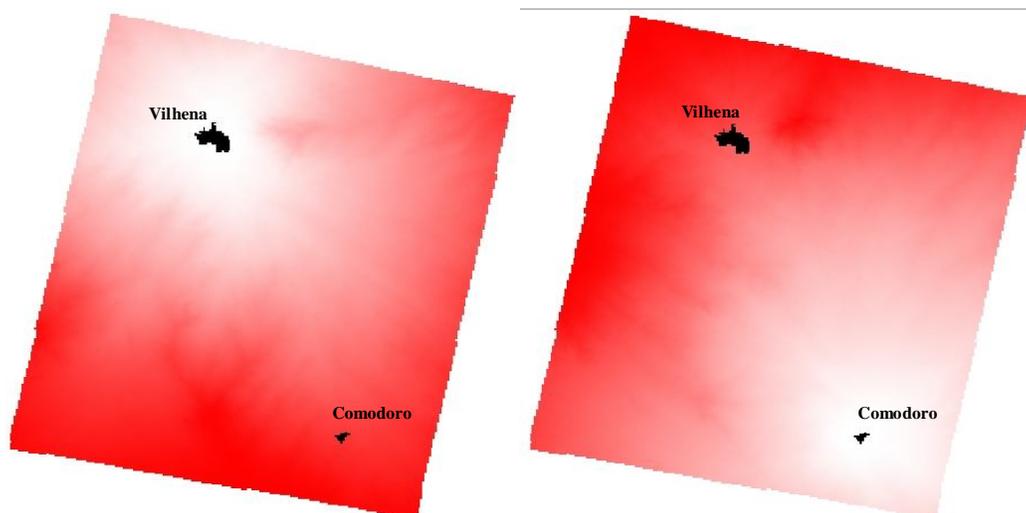


Figura 6. Mapas de custo de distancias resultante da modelagem do cenário 3. À Esquerda referente ao município de Vilhena/RO e á direita ao município de Comodoro/MT.

As figuras 7 e 8 apresentam os resultados finais da modelagem, ou seja, os corredores ótimos para os cenários desenvolvidos no modelo conforme a tabela 2.

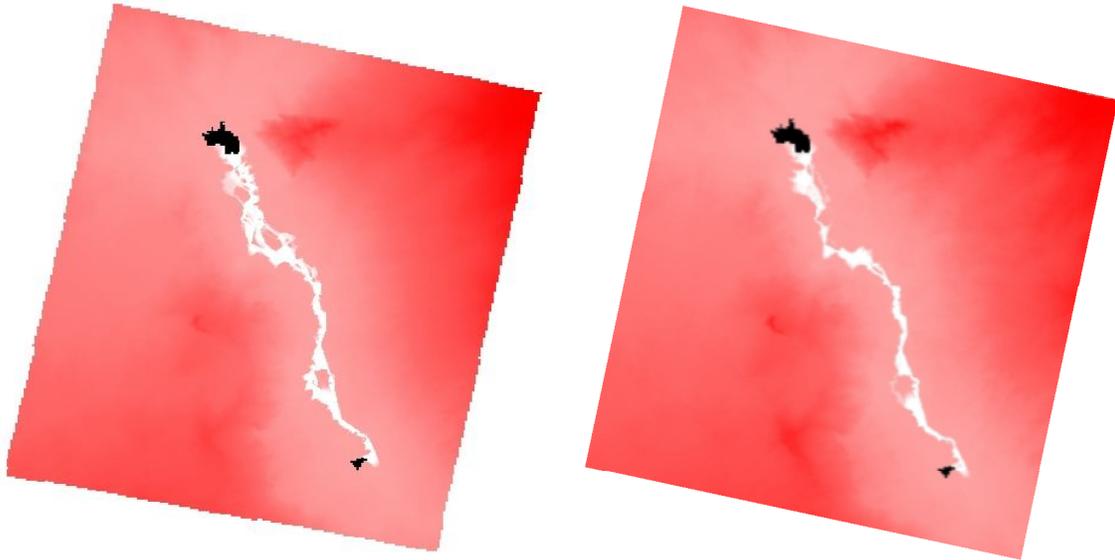


Figura 7. Corredores ótimos resultantes do modelo, cenários 1 (à esquerda) e 2 (á direita).

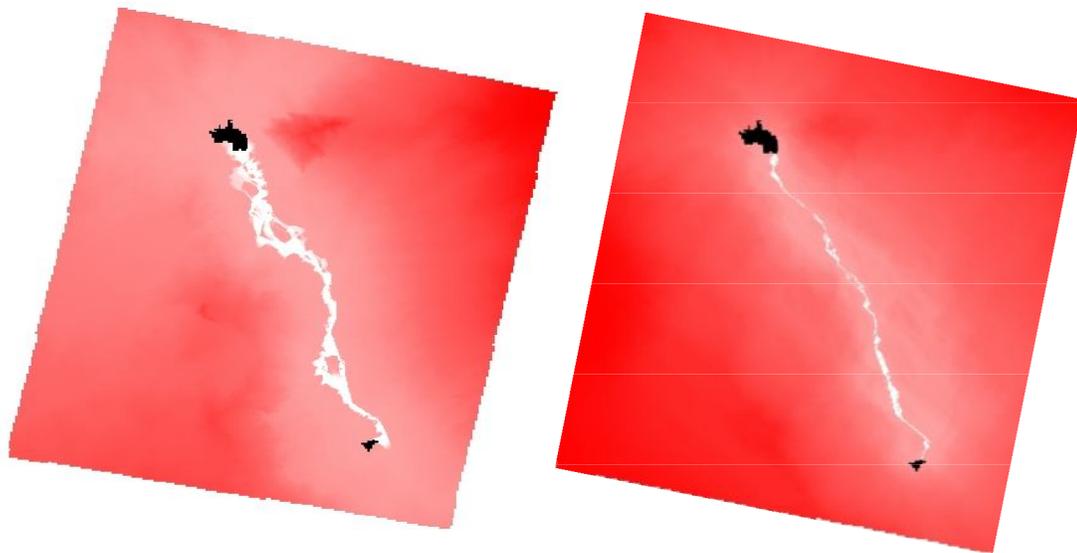


Figura 8. Corredores ótimos resultantes do modelo, cenários 1 (à esquerda) e 3 (á direita).

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 as 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.

## 5. 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 Dinâmica 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, contribuiriam 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.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) pelo apoio.

## Referencias Bibliográficas

Christofoletti, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgar Blucher, 1999. 236 p.

Lima, C.T.; Lima, G. M. C.; Freitas, Oliveira. M.S.; Sores-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.

Nobrega, R. A. A. ; O'Hara, C.G. ; SADASIVUNI, R. ; DUMAS, J. . Bridging decision-making process and environmental needs in corridor planning. **Management of Environmental Quality**, v. 20, p. 622-637, 2009.

Soares-Filho, B. S. ; Rodrigues, H. O.; Costa, W. L.**Modelagem de Dinâmica Ambiental com Dinâmica EGO**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2009. 116 p.

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