



AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE SISTEMAS BIM PARA ESTUDO DE UM TRAÇADO RODOVIÁRIO

A. C. Gosch¹; C. C. Luz²; S. Scheer³

^{1,2} Universidade Federal do Paraná, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 210, Jd. das Américas, Curitiba/PR

³ Departamento de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 210
Jd. das Américas, Curitiba/PR

*alecgosch@gmail.com*¹, *crisccluz@hotmail.com*², *sergioscheer@gmail.com*³

Resumo: Este trabalho faz uma análise da utilização de ferramentas de Modelagem da Informação da Construção (BIM) na determinação de alternativas locais de um traçado rodoviário, com o objetivo de avaliar a potencial utilização de processo BIM em anteprojetos de infraestrutura. Como procedimento metodológico adotou-se primeiramente a realização de uma pesquisa sobre os sistemas existentes com características de modelagem paramétrica tridimensional e ferramentas de otimização de traçado buscando similaridades e diferenças em sua utilização. Um experimento de alternativa locacional foi realizado a partir de uma modelagem no *software* Infracore 360 da Autodesk, de modo a criar um traçado para comparação com alinhamento obtido pelo *software* de determinação de corredores Quantm da Trimble e com um traçado criado através do sistema tradicional, sem o uso de processo BIM. A fim de se mensurar a adequação de cada sistema para uso em estudos locais de uma maneira objetiva, foi utilizada como ferramenta de apoio à decisão uma Análise Hierárquica de Processo (AHP). Como resultado, o traçado no Quantm apresentou resultados numericamente superiores, dentro dos parâmetros matriciais utilizados para auxílio na decisão, seguido pelo traçado criado por processo de projeto tradicional, enquanto o traçado otimizado pelo Infracore apresentou a menor adequação aos parâmetros estudados, dentro dos pesos estipulados na matriz comparativa.

Palavras-chave: Modelagem de Informações da Construção (BIM), Autodesk Infracore 360, Trimble Quantm, traçado rodoviário.

Abstract: This research aims to analyze road alignment creation tools based on Building Information Modelling (BIM), to evaluate their potential of finding favorable road alignments. As a method, it was first adopted to conduct research on existing software with road optimization tools, seeking similarities and differences between them. An experiment was conducted by modeling a locational alternative in Autodesk's Infracore 360 software. A road alignment was created and compared to two other alignments, one created in Trimble's Quantm alignment planning software and one created without the use of BIM technology. In order to determine the suitability of each technology to use in road alignment planning in an objective way, the Analytic Hierarchy Process (AHP) method was used as a decision support tool. As a result, the alignment generated by Quantm showed superior numerical characteristics within the matrix parameters used to aid the decision, followed by the alignment created by traditional design process, while the alignment optimized by Infracore presented the least adjustment to the studied parameters, within the stipulated weights in AHP.

Keywords: Building Information Modelling (BIM), Autodesk Infracore 360, Trimble Quantm, Road Alignment.

1 Introdução

O desenvolvimento da infraestrutura de transportes rodoviário é de essencial importância para a consolidação da recuperação da economia nacional, pois possibilita o escoamento da produção para os portos e distantes centros comerciais. Este desenvolvimento fundamenta-se, inicialmente, no investimento em elaboração de projetos, que dependem fortemente da escolha do traçado ideal das vias de ligação.

Parte essencial de um projeto rodoviário, o estudo de traçado de uma rodovia deve considerar parâmetros do terreno, ambientais, sociais e de qualidade da via, de modo a se definir a diretriz de acordo com limitações impostas nas normativas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), órgão responsável pela operação, manutenção, restauração, adequação de capacidade e construção de novas vias [1].

Para a escolha de um traçado é fundamental a delimitação dos locais convenientes para a passagem da rodovia, a partir da obtenção de informações básicas a respeito da geomorfologia da região e a caracterização geométrica desses locais [2]. Estudos de traçado tem por objetivo a escolha da diretriz que permita o lançamento do melhor traçado, o que resulte viável, técnica e economicamente, englobando etapas de reconhecimento e exploração da área de possível passagem da via [2]. O traçado é definido de acordo com as limitações dos meios físico, biológico e socioeconômico, procurando-se obter o menor impacto possível em cada uma dessas dimensões com maior qualidade técnica de projeto [3].

Segundo Dellatorre, o mercado de construção civil, nos últimos anos, o termo BIM - Modelagem da Informação da Construção ou *Building Information Modelling* deixou de ser um modismo com poucos pioneiros para ser a tecnologia central do mercado de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) [4]. Esta Modelagem da Informação da Construção trata de um processo de criação de projetos por meio de sistemas de modelagem paramétrica tridimensional orientados a objetos [5].

Um estudo conduzido pela American Society of Civil Engineers (ASCE) em 2012, mostra que o uso de BIM na infraestrutura de transportes permite a criação de projetos mais coerentes, devido a utilização de bancos de dados integrados, que permite incorporar dados ambientais, de topografia, sociais e de custos detectando interferências e restrições na fase de projeto [6].

A integração com outros sistemas de criação é uma característica de sistemas BIM, a partir do uso de arquivos em formato neutro para intercâmbio, de modo a garantir o fluxo de entrada e saída de informações para complementação do ciclo de vida do empreendimento [5]. Para projetos de implantação e pavimentação de rodovias, a possibilidade de associação de sistemas BIM com sistemas de informações georreferenciadas permite a realização de análises integradas para a determinação de uma alternativa locacional adequada para cada caso individual [7].

O objetivo do presente estudo é efetuar uma análise da utilização de sistemas BIM na determinação de alternativa locacional de um futuro segmento rodoviário, de modo a avaliar a potencial utilização deste sistema em anteprojetos de infraestrutura. Para tanto, considerou-se os programas computacionais Autodesk Infracad 360 e Trimble Quantm como sistemas BIM passíveis de aplicação em projetos preliminares de infraestrutura, por otimizarem a modelagem paramétrica e permitirem a interoperabilidade de seus arquivos.

2 Método

Como unidade de análise para os objetivos desta pesquisa foi realizado um estudo de alternativa locacional, a partir de uma diretriz já projetada de ligação da rodovia PR-90 com a rodovia PR-151, no município de Castro/PR, apresentada em [8]. Considerou-se um projeto de rodovia com características de Classe IB, velocidade diretriz de 80 km/h e região ondulada [1].

O método adotado no presente trabalho consistiu na determinação de um traçado rodoviário através da ferramenta de otimização de traçados do *software* Infracad 360 para o mesmo trecho estudado em [8], ou seja, com a mesma proposta de localização de início e término. Esta alternativa locacional teve suas características comparadas com os dois traçados estudados em [9], sendo uma desenvolvida através do *software* Trimble Quantm e a outra pelo método tradicional de escolha de traçados, ou seja, sem a utilização de sistemas BIM. As principais características obtidas foram utilizadas como critério de comparação dos traçados pelo Método de Análise Hierárquica de Processo (AHP) proposto por Saaty [9]. Um fluxograma do método adotado é apresentado na Fig. 1.

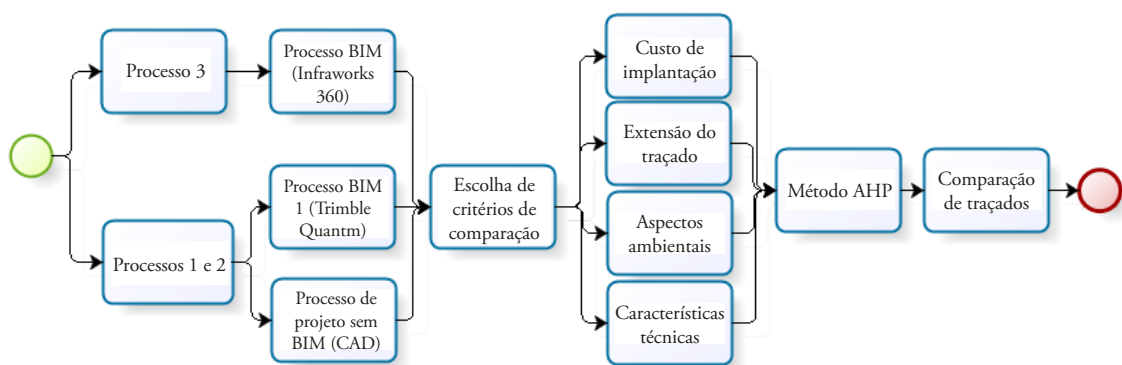


Figura 1 – Fluxograma do método adotado.

De acordo com Lee, os processos de reconhecimento integrantes da criação do traçado requerem informações relativas a classificação orográfica da região, uso do solo, áreas com restrições ambientais, acidentes geográficos, tipos de solos, ocorrências de materiais e cobertura vegetal. A etapa de exploração em um estudo de traçado requer levantamento detalhado da diretriz, visando a

obtenção de uma planta planialtimétrica da faixa de terreno que constitui essa diretriz com precisão topográfica [2].

Os *softwares* BIM estudados possuem bases de dados integradas a sistemas de informações geográficas, com fotografias de satélites, permitindo a realização de análises de reconhecimento diretamente na plataforma dos *softwares*. Na inexistência de outros dados de estudos relativos à geomorfologia da área em estudo, o reconhecimento foi realizado com base nos dados fornecidos pelo *software* Infracore 360 e por meio de inspeção local.

A etapa de exploração não foi aplicada neste estudo, que se restringiu à consideração das características socioeconômicas locais para determinação da classe da rodovia projetada, não sendo considerados estudos de demanda. Para a criação de modelos com precisão topográfica os traçados devem ser transferidos para *softwares* com maior capacidade de precisão para detalhamento, uma vez que as ferramentas aqui estudadas fornecem apenas a localização mais apropriada da diretriz da via, e não fomentam a criação de detalhamento de projetos, englobando, portanto, somente a etapa de reconhecimento do estudo de traçado de anteprojeto rodoviário.

A alternativa desenvolvida através do processo de projeto tradicional apresentado em [8] foi elaborada utilizando um sistema não integrado de informações, somente a partir de sistemas CAD. O traçado criado no *software* Trimble Quantm [8] analisou 385 alternativas, classificadas por etapas com relação aos seus parâmetros geométricos, custos, extensão e refinadas até a escolha do melhor traçado. O traçado criado no Infracore 360 foi modelado em três etapas, com parâmetros adicionados em cada etapa de modo a refinar o alinhamento encontrado. A delimitação da área territorial utilizada pelos processos no estudo das alternativas é ilustrada na Fig. 2.

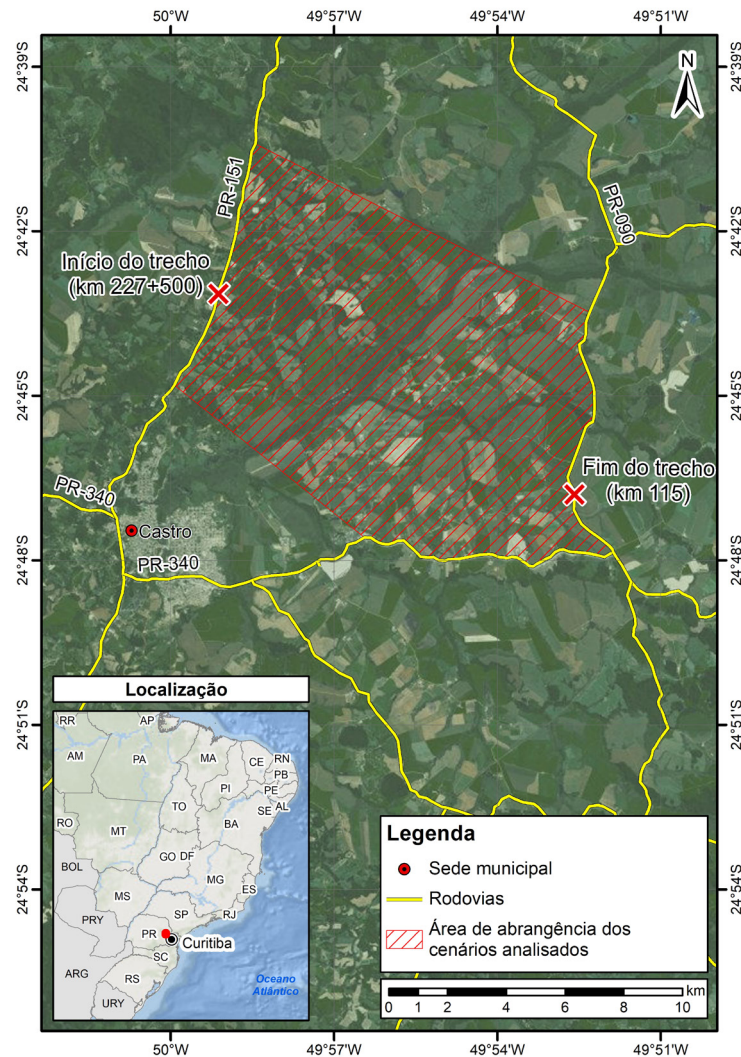


Figura 2 – Área estudada na modelagem de alternativas.

Ressalta-se, ainda, que o presente estudo não teve por objetivo a definição do melhor traçado para o trecho estudado, mas sim fomentar a análise dos possíveis benefícios e potencialidades da utilização de sistemas de tecnologia BIM para determinação de alternativas locais em projetos de infraestrutura rodoviária.

Para auxílio na tomada de decisão e comparação dos traçados, foi utilizada uma técnica de resolução de problemas com múltiplos critérios com o método AHP, exemplificado no trabalho de Abdi et al. como ferramenta de apoio à decisão em estudos de alternativas locais [10]. O método AHP foi aplicado neste estudo por meio do *software* PriEST, que sua validade de suas análises demonstrada por Siraj et al. [11].

O método AHP decompõe o problema em fatores, que podem ser divididos sucessivamente em novos fatores, de modo a simplificar o problema até um nível mensurável. Este método estabelece, a partir da construção de hierarquias, uma definição de prioridades e consistência lógica. As-

sim, os vetores de priorização são fixados visando a mais adequada ponderação dos pesos dos itens. Gera-se, então, uma matriz que apresenta um resultado hierárquico comparativo das alternativas estudadas, no qual cada uma recebe um peso de acordo com os parâmetros fixados [9]. A matriz de critérios utilizada nesta análise (Tabela 1) estruturou a tomada de decisão com base na importância dos critérios selecionados e ponderados, em função de sua relevância para o projeto. Um exemplo de utilização dos pesos aqui adotados é encontrado em [12], onde uma equipe técnica multidisciplinar determinou pesos para um estudo de traçados englobando três alternativas, com condições analisadas em termos de custos de implantação e características geométricas permitidas pelas condições de relevo.

Tabela 1 – Matriz de critérios AHP.

Prioridades	Custo de Implantação	Extensão	Aspectos Ambientais	Operacional/ Características técnicas
Custo Implantação	1	3	1	1
Extensão	0,33	1	0,33	0,33
Aspectos Ambientais	1	3	1	1,5
Operacional/Características técnicas	1	3	0,67	1

Um fator de restrição às análises realizadas refere-se aos dados passíveis de otimização no *software* Infracore, cuja entrada de dados restringe-se à velocidade diretriz, seção tipo de terraplenagem, raio mínimo de curvas horizontais, rampa máxima de perfil vertical, áreas de restrição de custos e alturas de pontes ou túneis, reduzindo, assim, as possibilidades de análises. Por este motivo, as comparações aqui realizadas se aplicam somente a explorar as potencialidades de sistemas BIM com otimização de traçados em nível de anteprojeto, mantidas às ressalvas citadas.

Uma vez que os dados disponibilizados, referentes ao traçado definido pelo método tradicional, ou seja, sem a utilização de sistema BIM [8], não compreenderam uma série relevante de informações técnicas, uma comparação com tal traçado se tornou restritiva. Entretanto, esta comparação se justifica pela existência de um traçado base, definido sem vícios ou tendências, que representa a metodologia usual empregada em projetos de infraestrutura [6]. A Tabela 2 apresenta os dados avaliados e as características técnicas para cada processo de obtenção do traçado.



Tabela 2 – Valores de comparação de traçados.

	Processo Tradicional (CAD)	Trimble Quantm	Infraworks 360
Custo de implantação	R\$ 75.000.000,00	R\$ 69.000.000,00	R\$ 57.000.000,00
Extensão do traçado	15.385,00 m.	14.860,00 m.	16.709,00 m.
Aspectos ambientais (Áreas de Restrição)	0,8	1	0,5
Raio mínimo de curva horizontal	210 m.	700 m.	280,89 m.
Rampa vertical máxima de perfil vertical	4,50%	3,89%	6%

Foram comparados os custos de implantação e a extensão de cada traçado, de modo a avaliar a viabilidade financeira da execução, operação e manutenção de cada alternativa.

As restrições ambientais e áreas de uso especiais também foram consideradas como parâmetros de comparação. Uma vez que a avaliação e valoração deste fator requer análises complexas de dados ambientais e socioeconômicos dos quais não se tinha disponibilidade, fez-se necessária uma simplificação para criação da matriz de critérios. Considerou-se, portanto, que o traçado gerado no Trimble Quantm, por efetuar maiores quantidades de análises e de alternativas, foi capaz de preservar a totalidade das áreas de restrição. Com relação ao traçado criado pelo processo tradicional (CAD), adotou-se que um quinto das áreas foram afetadas em algum nível pelo traçado criado. Já quanto ao traçado criado no Infraworks, por não haver diferenciação no *software* entre o custo e as áreas de restrição ambiental, sendo ambas igualmente consideradas na otimização, adotou-se, de maneira conservadora, que metade das áreas ambientalmente sensíveis podem ser afetadas pelo traçado projetado. Reconhece-se que a adoção de tais parâmetros tem efeito significativo na análise, porém devido à importância do fator ambiental na determinação de um traçado, optou-se por manter a comparação mesmo com parâmetros estimados.

As características técnicas e operacionais dos traçados foram comparadas limitando-se aos valores de raio mínimo de curvas horizontais e a rampa máxima do perfil vertical, por serem os únicos parâmetros com informações disponíveis dos três traçados estudados.

Utilizando a matriz de critérios apresentada na Tabela 1 e atribuindo os valores apresentados na Tabela 2, multiplicou-se os parâmetros estabelecidos pelos respectivos pesos para as três alternativas em estudo. Por fim, na análise por AHP os traçados foram comparados em uma escala de 0 a 1, onde o atendimento completo de todos os requisitos em todos os fatores considerados pela análise resultaria em pontuação 1.

3 Resultados

Os resultados obtidos na análise AHP foram de 0,409 pontos para o traçado gerado no Quantm, 0,307 pontos para o traçado resultante do processo de projeto que não utilizou sistema BIM e 0,284 pontos para o traçado resultante da modelagem do Infracworks.

Transformando o resultado obtido para valores percentuais, em termos de adequação às características técnicas apontadas como ideais pelo DNIT [1] para rodovias de Classe IB, tem-se que o traçado gerado pelo Quantm se mostrou 12,5% superior ao traçado criado sem uso de sistemas BIM, que por sua vez foi superior em 2,3% quando comparado com o traçado obtido e otimizado no Infracworks.

Observou-se, também, que o traçado otimizado pelo Infracworks apresentou a menor adequação aos parâmetros estudados, dentro dos pesos estipulados na matriz comparativa. Entretanto, deve-se considerar que o *software* Infracworks não é unicamente aplicado para a criação de estudos de alternativas locais como o *software* Quantm, cuja finalidade é a criação de cenários preliminares de projeto.

Nota-se, ainda, que os resultados obtidos pela modelagem realizada no Infracworks se aproximaram dos resultados obtidos no processo de projeto tradicional (CAD), com apenas 2,3% de diferença. Diante de tal cenário, pode-se aferir que para análises preliminares, especialmente considerando custos de implantação em fase de anteprojeto, o *software* se demonstrou eficaz. Além disso, diferentemente do traçado criado em processo de projeto tradicional, o traçado gerado pelo Infracworks demandou curto intervalo de tempo para sua espacialização e um único operador, o que só foi possível devido ao uso de modelagem tridimensional paramétrica, descrita em sistema BIM.

Pela diferença de 12,5% entre os resultados dos traçados gerados com o Quantm e com o Infracworks, pode-se constatar que os parâmetros e otimizações utilizados por sistemas distintos produzem diferenças no resultado final do traçado. Na análise individual de cada parâmetro da matriz comparativa, verificou-se que o Infracworks gerou resultados significativos na otimização de traçados com enfoque na redução de custos, enquanto que o Quantm atingiu expressivos resultados na otimização das características técnicas e operacionais do traçado.

Neste sentido, ressalta-se que há diferença entre as ferramentas de otimização que se apresentam no mercado, sendo essencial a análise individual das necessidades principais de cada projeto para determinar o melhor método a ser empregado. Isso evidencia a necessidade de o projetista avaliar os métodos e as tecnologias empregadas para cada tipo de empreendimento.



4 Conclusões

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise da potencialidade de dois sistemas de modelagem paramétrica tridimensional distintos (Quantm e Infracworks), para o uso em estudo de alternativas locais de traçado rodoviário. A modelagem otimizada no *software* Infracworks e a análise multi-critério apontaram benefícios na utilização de processo BIM para o estudo de um traçado rodoviário.

O método multi-critério de auxílio à tomada de decisão adotado (AHP) apresenta dependência das características técnicas utilizadas como dados de entrada nas matrizes de comparação. O resultado obtido é válido, portanto, somente para a fase inicial de avaliação das alternativas locais, com relação aos parâmetros explorados.

Comparando-se os dois sistemas BIM estudados, pode-se concluir que existe variação no algoritmo otimizador de cada um. Para a unidade de análise adotada, a otimização no Infracworks obteve o melhor custo de implantação da rodovia, enquanto o Trimble Quantm gerou um traçado com características técnicas mais próximas dos ideais apontados pelo DNIT [1] para rodovias de Classe IB.

Em termos financeiros, operacionais (devidos à extensão do traçado), aspectos ambientais e características técnicas dos traçados gerados, os estudos elaborados a partir de sistemas de modelagem tridimensional paramétrica demonstraram superioridade, cada qual dentro de suas potencialidades, ao traçado gerado a partir de um sistema de projeto não integrado à bancos de dados de informações paramétricas. Por fim, consideradas as simplificações realizadas, os resultados obtidos apontaram benefícios na utilização dos dois sistemas BIM estudados (Infracworks e Trimble Quantm). Se faz necessário, entretanto, a realização de estudos mais abrangentes na área, a fim de determinar a possibilidade de utilização das ferramentas estudadas em estudos completos de traçado.

Referências

- [1] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários - Escopos básicos e instruções de serviço**. Ministério dos transportes, 2006.
- [2] LEE, Shu Han. **Introdução ao Projeto Geométrico de Rodovias**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2009. 440 p.
- [3] STEINEMANN, Anne. **Improving alternatives for environmental impact assessment**. Environmental Impact Assessment Review, City Planning Program, Georgia Institute of Technology, USA 2001.
- [4] DELLATORRE, Joyce Paula Martin; SANTOS, Eduardo Toledo. **Introdução de novas tecnologias: o caso do BIM em empresa de construção civil**. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Maceió, nov. 2014. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/32300086-Introducao-de-novas-tecnologias-o-caso-do-bim-em-empresas-de-construcao-civil.html>>. Acesso em: 10 nov. 2017.
- [5] EASTMAN, C. M.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R. e LISTON, K. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors**. 2. ed. Hoboken: Wiley, 2011. 648p.
- [6] AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE). **The Business Value of BIM for Infrastructure**. Bedford: Mcgraw-hill Construction Research & Analytics, 2012.

- [7] TRIMBLE. **Alignment Planning Solutions: Transforming the way the world works**. Disponível em: <<http://www.trimble.com/alignment/index.aspx>>. Acesso em: 15 ago. 2016.
- [8] ENGEMAP GEOINFORMAÇÃO. **Estudo de Traçado: Castro-PR: Nota Técnica nº 01/2016**. Assis SP: Trimble, 2016. 48 p.
- [9] SAATY, T.L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v. 1, p.83-98, 2008.
- [10] ABDI et al. A GIS-MCE based model for forest road planning. **Journal Of Forest Science**. Karaj, p. 171-176. abr. 2009.
- [11] SIRAJ, S.; MIKHAILOVC, L.; KEANED, J. A. **PriEsT**: an interactive decision support tool to estimate priorities from pairwise comparison judgments. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/itor.12054/full>>. Acesso em: 10 abr. 2017.
- [12] AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). **Programa de Investimentos em Logística**: Ferrovias estudo de engenharia Trecho: Maracaju/MS – Lapa/P. Volume I – Relatório do Projeto. Brasília: Ministério dos Transportes, 2014.