UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALESSANDRA COSTA GOSCH

TECNOLOGIAS BIM E SIG APLICADAS PARA A AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL DE ALTERNATIVAS DE TRAÇADO RODOVIÁRIO: ESTUDO DE CASO DA BR-135 BA

CURITIBA

2020

ALESSANDRA COSTA GOSCH

TECNOLOGIAS BIM E SIG APLICADAS PARA A AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL DE ALTERNATIVAS DE TRAÇADO RODOVIÁRIO: ESTUDO DE CASO DA BR-135 BA

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná em parceria com o SENAI-PR e a Universität Stuttgart, Alemanha, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial.

Orientadora: Profª. M.Sc. Sandra Mara Pereira de Queiroz

Coorientador: Prof. Dr. Eduardo Ratton

CURITIBA

2020

CATALOGAÇÃO NA FONTE – SIBI/UFPR

G676t

Gosch, Alessandra Costa

Tecnologias de modelagem de informações da construção (BIM) e Sistemas de Informações Geográficas (SIG) aplicadas à avaliação de impacto ambiental no estudo de alternativas de traçado rodoviário: estudo de caso da BR-135 na Bahia, trecho entre os kms 207 e 212 [recurso eletrônico]/ Alessandra Costa Gosch, 2020.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná em parceria com o SENAI-PR e a Universität Stuttgart, Alemanha

Orientadora: Profª. M.Sc. Sandra Mara Pereira de Queiroz
Coorientador: Prof. Dr. Eduardo Ratton

1. Modelagem da Informação da Construção. 2. Rodovia. I. Queiroz, Sandra Mara Pereira de. II. Ratton, Eduardo. III. Universidade Federal do Paraná. IV. Título. CDD 620.0042

Bibliotecária: Vilma Machado CRB9/1563

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MEIO AMBIENTE
URBANO E INDUSTRIAL - 40001016057P5

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **ALESSANDRA COSTA GOSCH** intitulada: **TECNOLOGIAS BIM E SIG APLICADAS PARA A AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL DE ALTERNATIVAS DE TRAÇADO RODOVIÁRIO - ESTUDO DE CASO DA BR 135 BA**, sob orientação da Profa. SANDRA MARA PEREIRA DE QUEIROZ, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do titulo de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 20 de Agosto de 2020.

Assinatura Eletrônica
26/08/2020 18:10:16.0
SANDRA MARA PEREIRA DE QUEIROZ
Presidente da Banca Examinadora (LQ GEOAMBIENTAL)

Assinatura Eletrônica
26/08/2020 17:41:42.0
EDUARDO VEDOR DE PAULA
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
27/08/2020 13:06:14.0
EDUARDO FELGA GOBBI
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.
Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 50420
Para autenticar este documento/assinatura, acesse https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp e insira o codigo 50420

Dedicado à Lila.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e ao Universo, por tudo que há.

À professora Sandra, pela orientação cuidadosa e assistência continuada sempre que foi necessário. Um de meus maiores receios com relação ao mestrado quando me candidatei era devido à várias histórias passadas por colegas que não receberam bom direcionamento de seus orientadores. À professora Sandra, só tenho a agradecer por estar no extremo oposto desta estatística. Agradeço imensamente poder contar com uma orientadora presente, atenta e dedicada.

Ao professor Eduardo Ratton, pelo interesse no trabalho, orientação e correções ao longo de toda minha vida de formada. Agradeço ainda pelo grande incentivo ao meu desenvolvimento profissional e pessoal, e pela oportunidade de trabalhar com um tema tão instigante.

À professora Patrícia Charvet, pelo apoio e atenção na coorientação do início deste trabalho.

Aos professores Arislete Dantas de Aquino, Eduardo Felga Gobbi e Eduardo Vedor de Paula, que formaram minhas bancas de defesa e forneceram instruções valiosas para a conclusão deste estudo, com correções minuciosas e instrutivas, contribuindo enormemente para a qualidade do trabalho final. Muito obrigada!

Ao professor Sérgio Scheer, que me mostrou o infinito potencial de sistemas de modelagem de informação quando fui sua aluna de Iniciação Tecnológica, e sempre incentiva o maior desenvolvimento da área.

Ao Cristhyano Cavali da Luz, que orientou com empenho meu trabalho de conclusão da graduação e me encorajou a buscar o tema que culminou neste trabalho.

Agradeço a toda a equipe do ITTI, em especial aos amigos Dyeison e Alexandre, que me auxiliaram em pontos importantes do trabalho.

Agradeço aos meus queridos pais, a quem devo tudo que sou.

Ao meu esposo, por todo o apoio, incentivo e paciência.

À Gabriela e Flávia, por me mostrarem um mundo melhor.

À toda minha família e amigos, que me ampararam ao longo desse trabalho.

Presto ainda meus agradecimentos à FUPEF, uma vez que o presente trabalho foi desenvolvido com o apoio da Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná – FUPEF.

“Vivemos em uma época perigosa. O homem domina a natureza antes que tenha aprendido a dominar a si mesmo. ”

Albert Schweitzer

RESUMO

Projetos de infraestrutura rodoviária demandam extensas análises e estudos a fim de se obter empreendimentos que atendam às necessidades humanas com o mínimo impacto gerado ao meio ambiente em que se localizam. A Avaliação de Impactos Ambientais tradicionalmente é aplicada após a determinação da alternativa de traçado, porém durante o estudo de alternativas locacionais há a necessidade de se considerar os impactos gerados por cada alternativa, de modo a definir o traçado de menor impacto ambiental. Neste sentido, o presente trabalho apresenta uma aplicação de programas de modelagem da informação em conjunto com sistemas de informações georreferenciadas para uso Avaliação de Impactos Ambientais de estudos de alternativas locacionais rodoviárias. Em vista disso, este trabalho visa verificar a aplicabilidade de tecnologias BIM e SIG, por meio do estudo de caso aplicado ao trecho da rodovia BR-135/BA, entre os km 207 a 212 no município de São Desidério na Bahia, onde foram geradas 3 alternativas locacionais por diferentes fluxos de trabalho utilizando programas computacionais de ambas as tecnologias, e utilizados métodos multicritério para a avaliação dos resultados. Os resultados obtidos pela aplicação das tecnologias BIM e SIG na geração de alternativas de traçado, em termos de impacto ambiental estimado, foram analisados em comparação com traçado gerado em CAD paramétrico. Verificou-se que a tecnologia SIG apresenta potencial para uso em avaliação de impactos de maneira conjunta à elaboração do projeto em CAD paramétrico dependendo dos pesos e critérios empregados na otimização, enquanto a tecnologia BIM empregada ainda não possui a capacidade de processamento necessária para a avaliação de todas as restrições ambientais consideradas.

Palavras-chave: Tecnologia BIM; Avaliação de Impacto, Estudo de Traçado Rodoviário, SIG; Alternativas locacionais.

ABSTRACT

Road infrastructure projects require extensive analysis to meet human needs with a minimal impact on the environment. Environmental Impact Assessment is traditionally applied after the road alternative is determined, however, during the alignment planning there is a need to consider the impacts generated by each alternative, to define the alignment with the least impact. Thus, this paper presents an application of Information Modeling programs in conjunction with Georeferenced Information Systems for Environmental Impact Assessment of road alignment planning studies. Therefore, this thesis aims to verify the applicability of BIM and GIS technologies, through the case study of a segment in BR-135 / BA, between km 207 to 212, in the municipality of São Desidério, Bahia. Three alignment alternatives were generated by using different workflows in computer programs of both technologies, and multicriteria methods were used to evaluate the results. The results obtained by the application of BIM and GIS technologies in the alignment optimization, in terms of estimated environmental impact, were analyzed in comparison with an alignment generated via parametric CAD. It was found that GIS technology has the potential for use in impact assessment if used in conjunction with project design, depending on the weights and criteria employed in the optimization. Whereas, the tested BIM technology does not yet have the processing capacity required to evaluate all the environmental restrictions considered in this case study.

Keywords: BIM Technology; Environmental Impact Assessment; Roadway Alignment Planning; GIS; Road Location Alternatives

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ETAPAS DE PROJETO 21
FIGURA 2 - FASES DO LICENCIAMENTO AMBIENTAL 42
FIGURA 3 - BENEFÍCIOS DE UM SISTEMA BIM 49
FIGURA 4 - CURVA DE MACLEAMY 50
FIGURA 5 - FLUXO DE TRABALHO DA ETAPA I 60
FIGURA 6 - LOCALIZAÇÃO DA BR-135/BA 61
FIGURA 7 - ÁREA DE ESTUDO DAS ALTERNATIVAS LOCACIONAIS 62
FIGURA 8 - LOCAL DE INÍCIO DO SEGMENTO 63
FIGURA 9 - LOCAL FINAL DO SEGMENTO 63
FIGURA 10 - FLUXO DE TRABALHO DA ETAPA II 69
FIGURA 11 - FLUXO DE TRABALHO DA ETAPA III 71
FIGURA 12 - FLUXO DE TRABALHO DA ETAPA IV 72
FIGURA 13 - SUPERFÍCIE DE CUSTO-BENEFÍCIO GERADA COM SIG 94
FIGURA 14 - TRAÇADO GERADO POR TECNOLOGIA SIG (ALTERNATIVA EM SIG) 95
FIGURA 15- ANÁLISE DE OTIMIZAÇÃO DO TRAÇADO NÃO FINALIZADA 97
FIGURA 16 - *SOFTWARE* DE DESENHO PARAMÉTRICO COM DADOS DE SIG 98
FIGURA 17 - TRAÇADO GERADO SEM OTIMIZAÇÃO (ALTERNATIVA EM CAD) 99
FIGURA 18 - RESULTADOS DA MCDA ENTRE ALTERNATIVAS SIG E CAD ... 101
FIGURA 19 - RESULTADOS DA SIMULAÇÃO MONTE CARLO 102

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - CLASSIFICAÇÃO FUNCIONAL DE RODOVIAS 19
QUADRO 2 - CLASSIFICAÇÃO TÉCNICA DE RODOVIAS 20
QUADRO 3 - ESTUDOS E NORMATIVAS NECESSÁRIOS AOS ESTUDOS BÁSICOS 22
QUADRO 4 - ESTUDOS E NORMATIVAS NECESSÁRIOS AOS PROJETOS 23
QUADRO 5 - LISTAGEM DE IMPACTOS AMBIENTAIS DE OBRAS RODOVIÁRIAS NA FASE DE PLANEJAMENTO 26
QUADRO 6 - LISTAGEM DE IMPACTOS AMBIENTAIS DE OBRAS RODOVIÁRIAS NA FASE DE IMPLANTAÇÃO 28
QUADRO 7 - LISTAGEM DE IMPACTOS AMBIENTAIS DE OBRAS RODOVIÁRIAS NA FASE DE OPERAÇÃO 34
QUADRO 8 - LEGISLAÇÃO FEDERAL 38
QUADRO 9 - COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE AIA 47
QUADRO 10 - DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS AHP 58
QUADRO 11 - RELAÇÃO DE IMPACTOS PARA O SEGMENTO ESTUDADO 104
QUADRO 12 - IMPACTOS AMBIENTAIS PASSÍVEIS DE OTIMIZAÇÃO 119
QUADRO 13 - IMPACTOS AMBIENTAIS MINIMIZADOS PELA OTIMIZAÇÃO DE CRITÉRIOS RESTRITIVOS SOCIOAMBIENTAIS 122

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - ESCALA DE SIGNIFICÂNCIA DOS IMPACTOS DO MÉTODO CGMAB-UFPR 74
TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SEGMENTO ESTUDADO 76
TABELA 3 - DADOS VETORIAIS 77
TABELA 4 - DADOS MATRICIAIS 88
TABELA 5 - PARÂMETROS DE ENTRADA DA OTIMIZAÇÃO DE SUPERFÍCIE EM SIG 90
TABELA 6 - PARÂMETROS DE ENTRADA DA OTIMIZAÇÃO COM BIM 91
TABELA 7 - PESOS DA MCDA 92
TABELA 8 - QUANTITATIVOS ALTERNATIVA SIG 96
TABELA 9 - QUANTITATIVOS ALTERNATIVA EM CAD 100
TABELA 10 - ESCALA DE SIGNIFICÂNCIA DOS IMPACTOS DO MÉTODO CGMAB-UFPR 106
TABELA 11 - MATRIZ DE IMPACTOS DA FASE DE PLANEJAMENTO 107
TABELA 12 - MATRIZ DE IMPACTOS DA FASE DE IMPLANTAÇÃO 108
TABELA 13 - MATRIZ DE IMPACTOS DA FASE DE OPERAÇÃO 110
TABELA 14 - RESUMO DAS MATRIZES DE IMPACTOS 111
TABELA 15 - COMPARATIVO DE RESULTADOS DOS MÉTODOS EMPREGADOS 112
TABELA 16 - COMPARATIVO DE OTIMIZAÇÕES COM BIM E SIG 114
TABELA 17 - COMPARATIVO DE FLUXOS DE TRABALHO 116

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADA	Área Diretamente Afetada
AHP	*Analytic Hierarchy Process* – Processo Hierárquico Analítico
ANA	Agência Nacional de Águas
APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Preservação Permanente
BA	Estado da Bahia
BDGEx	Dados Geográficos do Exército Brasileiro
BIM	*Building Information Modelling* - Modelagem de Informações da Construção
CAD	*Computer Aided Design*
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CECAV	Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas
CEPRAM	Conselho Estadual de Meio Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes e Infraestrutura
DSG	Diretoria de Serviços Geográficos
DWG	*Drawing* - extensão de arquivos formato proprietário da Autodesk
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
FUNAI	Fundação Nacional do Índio
GI	Grau de Impacto
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e estatística
ICADS	Instituto de Ciências Ambientais e Desenvolvimento Sustentáveis
ICM-Bio	Instituto Chico Mendes de Biodiversidade
INEMA	Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
IS	Instrução de Serviço
ITTI	Instituto Tecnológico de Transportes e Infraestrutura da Universidade Federal do Paraná
JPEG	*Joint Photographic Experts Group* - extensão de arquivo de imagem
LI	Licença de Instalação
LO	Licença de Operação
LP	Licença Prévia
MCDA	*Multi Criteria Decision Analysis*

MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital do Terreno
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
OAEs	Obras de Arte Especiais
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
PNMA	Programa Nacional do Meio Ambiente
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SICRO	Sistema de Custos e Referencial de Obras
SHP	*Shapefile* - extensão de arquivos de dados geoespaciais
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SISEMA	Sistema Estadual do Meio Ambiente
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
TIFF	*Tagged Image File Format* – extensão de arquivo de imagem
UFPR	Universidade Federal do Paraná
VMD	Volume Médio Diário de Tráfego
VPD	Veículos por dia
WWF	*World Wide Fund for Nature*

SUMÁRIO

1 I INTRODUÇÃO 16
1.1.1 Objetivo geral 17
1.1.2 Objetivos específicos 17
2 REVISÃO DE LITERATURA 18
2.1 OBRAS RODOVIÁRIAS 18
2.1.1 Etapas construtivas e de projeto 20
2.1.2 Impactos ambientais de obras rodoviárias 25
2.1.3 Estudo de traçado de obras rodoviárias 36
2.1.4 Licenciamento ambiental de obras rodoviárias 37
2.1.4.1 Legislação Brasileira 37
2.1.4.2 Etapas do Licenciamento 41
2.2 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS 43
2.2.1 Métodos de Avaliação de Impactos Ambientais 43
2.2.1.1 Método *Ad-hoc* 44
2.2.1.2 Método de Checklist 44
2.2.1.3 Método da Matriz de Interação 45
2.2.1.4 Método de Redes de Interação 45
2.2.1.5 Método de superposição de cartas 45
2.2.1.6 Métodos de simulação 46
2.2.1.7 Métodos quantitativos 46
2.2.1.8 Comparação entre os métodos 46
2.3 MODELAGEM DE INFORMAÇÕES DA CONSTRUÇÃO (BIM) 48
2.4 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) 54
2.5 ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIOS - MÉTODOS DE APOIO À DECISÃO (MCDA) 56
2.5.1 Método de Análise Hierárquica (AHP) 57
2.5.2 Método de Monte Carlo 58
2.5.3 Ferramenta ElectioVIS 59
3 MATERIAL E MÉTODOS 60
3.1 ETAPA I 60
3.1.1 Local de estudo 61
3.1.2 Critérios de restrições socioambientais 64

3.1.3 Dados geográficos 64
3.1.4 Pesos para os critérios socioambientais 68
3.2 ETAPA II 68
3.2.1 Alternativa por Sistema de Informação Geográfica (SIG) 69
3.2.2 Alternativa de emprego da Modelagem de Informações da Construção (BIM) 70
3.2.3 Alternativa não otimizada – em sistema CAD 70
3.3 ETAPA III 70
3.4 ETAPA IV 71
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 75
4.1 ETAPA I 75
4.1.1 Local de estudo 75
4.1.2 Critérios de restrições socioambientais 76
4.1.3 Dados geográficos 76
4.1.4 Pesos para os critérios socioambientais 89
4.1.4.1 Pesos aplicados aos algoritmos de otimização 89
4.1.4.2 Pesos aplicados na análise multicritério 92
4.2 ETAPA II 93
4.2.1 Alternativa por Sistema de Informação Geográfica (SIG) 93
4.2.2 Alternativa de emprego da Modelagem de Informações da Construção (BIM) 96
4.2.3 Alternativa não otimizada – em sistema CAD 97
4.3 ETAPA III 100
4.4 ETAPA IV 102
4.5 DISCUSSÕES 113
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 124
REFERÊNCIAS 127

1 INTRODUÇÃO

Os projetos de infraestrutura rodoviária são constituídos de estudos em diversas fases, sendo o estudo de alternativas locacionais de traçado uma fase determinante para o impacto ambiental a ser causado pelo empreendimento. Entretanto, usualmente trata-se de uma fase que ocorre previamente à avaliação de impactos ambientais (AIA), visto que a AIA é realizada em função do projeto já definido. Assim, a determinação da alternativa locacional usualmente não considera avaliação estruturada de impactos em sua definição.

São necessárias extensas análises a fim de se obter um projeto rodoviário que melhor supra às necessidades das populações atendidas, gerando o mínimo impacto ao ambiente em que se localizam.

Tratam-se de procedimentos de combinação de elementos sociais divergentes em um mesmo espaço, nos quais deve-se garantir o objetivo estratégico do desenvolvimento sustentável ao adequar os meios de exploração dos recursos naturais às limitações do meio ambiente, de modo a impedir ou minimizar os impactos ambientais e cumprir com as diretrizes de conservação que visam a preservação e proteção do meio ambiente (PIMENTA *et al.*, 2014).

Os riscos ambientais envolvidos em obras rodoviárias, para serem adequadamente mensurados requerem obtenção e análise de informações sobre os principais componentes dos meios afetados.

Assim, este trabalho se propõe a empregar fluxos de trabalho que permitam um nível de avaliação dos impactos já durante a elaboração da alternativa locacional de traçado rodoviário, de modo a resultar em traçados com menores riscos ambientais aos meios afetados.

Para tanto, procurou-se aferir a validade da aplicação de programas de modelagem da informação em conjunto com sistemas de informações georreferenciadas, em determinado estudo de caso de um segmento rodoviário em implantação da BR – 135 na Bahia, entre os km 207 a 212 no município de São Desidério.

A metodologia aplicada para estudo de alternativa locacional da citada rodovia foi a aplicação de tecnologias de Modelagem de Informações da Construção

(BIM) e Sistemas de Informações Geográficas (SIG) em diferentes fluxos de trabalho para otimização de traçados viários visando o menor impacto ambiental.

Este estudo se insere como uma contribuição para a linha de pesquisa de Tecnologia Ambiental, na medida em que busca viabilizar a aplicação de inovações tecnológicas para a realização de análises mais precisas, objetivando a proteção do meio ambiente e o desenvolvimento sustentável.

OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Aplicar as tecnologias BIM e SIG para a geração de alternativas de traçado com Avaliação de Impacto Ambiental

1.1.2 Objetivos específicos

A. Verificar a aplicabilidade das tecnologias BIM e SIG para a Avaliação de Impacto Ambiental em Estudos de Traçados Rodoviário, por meio do Estudo de Caso aplicado ao de trecho da rodovia BR-135 na Bahia, entre os km 207 a 212 no município de São Desidério na Bahia.

B. Comparar os resultados obtidos pela aplicação dessas tecnologias na geração de alternativas de traçado, em termos de impacto ambiental estimado, com os resultados do traçado gerado em CAD paramétrico não otimizado.

C. Determinar possibilidades do uso de cada uma das tecnologias, no fluxo de trabalho empregado no estudo de caso.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 OBRAS RODOVIÁRIAS

Os empreendimentos rodoviários constituem um dos principais elementos indutores do desenvolvimento socioeconômico de um país, sendo capazes de gerar um leque variado de benefícios tanto para os usuários de rodovias quanto para as comunidades lindeiras, repercutindo positivamente na sociedade como um todo. Por outro lado, do ponto de vista ambiental, o processo construtivo de empreendimentos rodoviários tende a ocasionar também impactos negativos, caso a consequente expansão do tráfego e de pessoas não venha acompanhada de medidas adequadas visando eliminar, mitigar ou compensar esses impactos.

Assim sendo, todo o complexo de atividade rodoviária, que abrange as ações inerentes à infraestrutura viária e à operação das rodovias, deve se manter fiel às perspectivas do chamado desenvolvimento sustentável.

O processo de avaliação prévia dos impactos ambientais de um empreendimento, ao utilizar informações, estudos, análises e projeções de caráter científico, visa antever com o maior grau de certeza possível os ganhos e perdas ambientais potencialmente decorrentes da implantação de um projeto ou atividade, em curto, médio e longo prazos (STEINEMANN, 2001).

Projetos de rodovias são classificados por suas funcionalidades e características técnicas, de acordo com o Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais do Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes (DNIT) (1999).

A classificação funcional agrupa as rodovias conforme o serviço por elas prestado, enquanto a classificação técnica categoriza por critérios geométricos e operacionais.

Na classificação funcional são utilizadas três categorias, os sistemas arterial, coletor e local, em função das áreas atendidas pela rodovia, sua extensão, nível de serviço e níveis de acesso (DNIT, 1999; LEE, 2009). O QUADRO 1 apresenta os parâmetros de referência e as funções básicas de cada sistema.

QUADRO 1 - CLASSIFICAÇÃO FUNCIONAL DE RODOVIAS

Sistemas funcionais		Funções básicas	Parâmetros de referência
Arterial	Principal	Viagens internacionais e inter regionais. Elevados níveis de mobilidade. Formar sistema contínuo na região. Articulação com rodovias similares em regiões vizinhas. Conectar capitais e cidades com população > 150.000 hab.	Extensão: 2% a 3% da rede. Serviço: 30% a 35% do vpd.km. Ext. média de viagens: 120 km. Veloc. Operação: 60 a 120 km/h. Tráfego médio diário: 1000 vpd.
	Primário	Viagens inter regionais e interestaduais. Atender função essencial de mobilidade. Formar sistema contínuo na região. Conectar cidades c/ população aprox. 50.000 hab.	Extensão: 1,5% a 3,5% da rede. Serviço: 15% a 20% do vpd.km. Ext. média de viagens: 80 km. Veloc. Operação: 50 a 100 km/h. Tráfego médio diário: 500 vpd.
	Secundário	Viagens intraestaduais e interestaduais não servidas pelos sistemas superiores. Formar sistema contínuo com rodovias dos sistemas superiores, atendendo função essencial de mobilidade. Conectar cidades c/ população > 10.000 hab.	Extensão: 2,5% a 5% da rede. Serviço: 10% a 20% do vpd.km. Ext. média de viagens: 60 km. Veloc. Operação: 40 a 80 km/h. Tráfego médio diário: 250 vpd.
Coletor	Primário	Viagens intermunicipais. Atender função de mobilidade e de acesso a geradores de tráfego (portos, mineração, parques turísticos, produção agrícola, etc.). Conectar cidades c/ população > 5.000 hab.	Extensão: 4% a 8% da rede. Serviço: 8% a 10% do vpd.km. Ext. média de viagens: 50 km. Veloc. Operação: 30 a 70 km/h. Tráfego médio diário: 150 vpd.
	Secundário	Ligar áreas servidas pelo sist. Coletor primário ou pelo sistema arterial. Acesso a grandes áreas de baixa densidade populacional. Conectar centros c/ população > 2.000 hab. E sedes municipais não servidas por sistemas superiores.	Extensão: 10% a 15% da rede. Serviço: 7% a 10% do vpd.km. Ext. média de viagens: 35 km. Veloc. Operação: 30 a 60 km/h. Tráfego médio diário: 50 vpd.
Local		Viagens intramunicipais. Acesso de pequenas localidades e áreas rurais às rodovias de sistemas superiores.	Extensão: 65% a 80% da rede. Serviço: 5% a 30% do vpd.km. Ext. média de viagens: 20 km. Veloc. Operação: 20 a 50 km/h. Tráfego médio diário: 10 vpd.

FONTE: Lee (2009).

A classificação técnica, por sua vez, define cinco classes para a elaboração de projetos rodoviários, sendo a classe IV a de menor rigor técnico, e a classe 0 a de padrão mais alto. Os fatores relevantes na definição da classe de um projeto são: o Volume Médio Diário de Tráfego (VMD), a classificação funcional, o Nível de Serviço da via e condicionantes econômicas e ambientais.

O relevo é também um fator determinante com relação às condicionantes econômicas e ambientais, sendo classificado entre plano, ondulado e montanhoso.

O QUADRO 2 apresenta os critérios de classificação técnica e as velocidades de projeto relativas a cada classe de projeto (LEE, 2009).

QUADRO 2 - CLASSIFICAÇÃO TÉCNICA DE RODOVIAS

Classes de projeto		Características	Critérios de Classificação técnica	Velocidade de projeto (km/h)		
				Relevo plano	Relevo ondulado	Relevo montanhoso
0		Via expressa (controle total de acesso)	Decisão administrativa	120	100	80
I	A	Pista dupla (controle parcial de acesso)	Quando o projeto em pista simples resulta em níveis de serviço inferiores ao aceitável	100	80	60
	B	Pista simples	Volume de tráfego projetado: >200vph ou > 1400vpd			
II		Pista simples	Volume de tráfego projetado: 700 vpd a 1400vpd	100	70	50
III		Pista simples	Volume de tráfego projetado: 300 vpd a 700vpd	80	60	40
IV	a	Pista simples	Tráfego na data de abertura: 50 vpd a 200 vpd	60	40	30
	b	Pista simples	Tráfego na data de abertura: < 50 vpd			

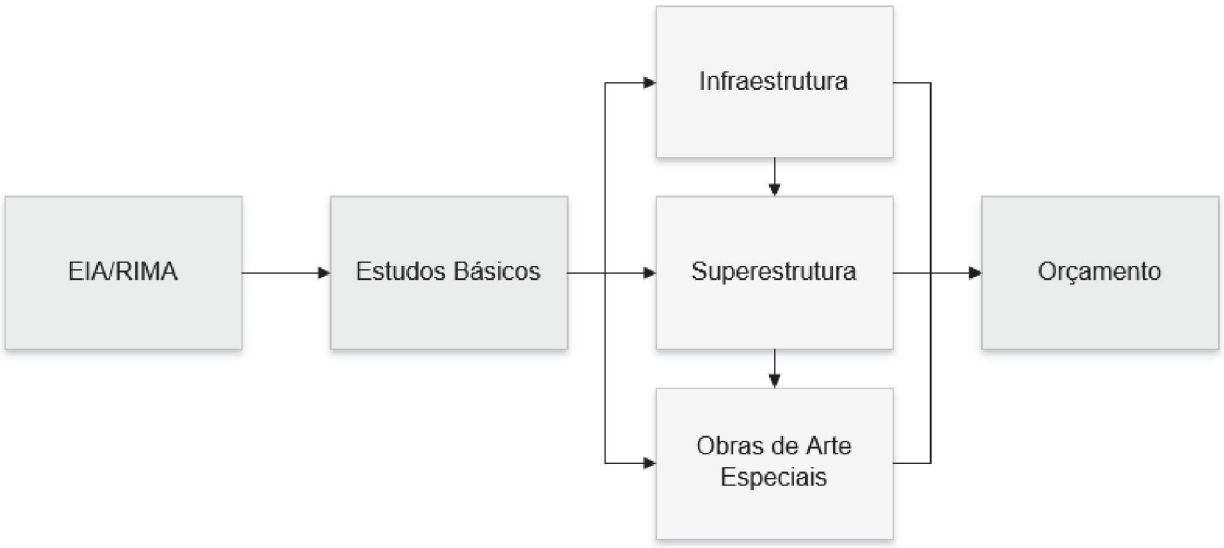
FONTE: Lee (2009)

2.1.1 Etapas construtivas e de projeto

No Brasil, as atividades que compõem um projeto rodoviário são regulamentadas pelo Manual de Diretrizes Básicas para a Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários – Escopos Básicos e Instruções de Serviço (DNIT, 2006).

A FIGURA 1 apresenta as etapas de projeto, e em seguida elencam-se as principais fases de que devem ser elaboradas em cada etapa.

FIGURA 1 - ETAPAS DE PROJETO



Fonte: Adaptado de CGDESP-DNIT, 2018.

As fases de pesquisa e planejamento de um empreendimento rodoviário tem por objetivo a obtenção do licenciamento ambiental, incluindo as etapas de Licença Prévia (LP), de Instalação (LI) e de Operação (LO) (LOPES; QUEIROZ; REIS, 2012).

Expedida a LP, o projeto com detalhamento a nível executivo deve ser elaborado levando em consideração as medidas de controle ambiental. As fases relativas ao projeto devem seguir as recomendações do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) no que se refere a estudos, projeto e execução (PIMENTA et. al., 2014).

A etapa relativa aos estudos básicos está condicionada à conclusão da fase de estudos ambientais, que determina o traçado preliminar da rodovia. Os estudos básicos caracterizam o local do empreendimento e subsidiam os projetos a serem desenvolvidos. Os estudos contemplados são: geológico, geotécnico, hidrológico da rodovia, hidráulico e hidrológico de Obras de Arte Especiais (OAEs), topográfico e de tráfego (DNIT, 2006).

O QUADRO 3 apresenta os estudos e normativas que regulamentam cada etapa dos estudos básicos de empreendimentos rodoviários no Brasil.

QUADRO 3 - ESTUDOS E NORMATIVAS NECESSÁRIOS AOS ESTUDOS BÁSICOS

Estudos básicos	Descrição	Normativas
Estudos Geológicos	Coleta e pesquisa de dados, interpretação de fotografias aéreas e investigação em campo contendo plano de sondagens, mapeamento geológico, descrição geológica da região e recomendações.	IS-202
Estudos Geotécnicos	São estudos de subleito e o estudo de empréstimos e ocorrências de materiais. O estudo do subleito é realizado ao longo do eixo do traçado selecionado e é baseado no projeto geométrico básico. Também se realiza estudo de estabilidade de taludes, estudo de empréstimo para corpo de aterro, estudo de ocorrência de materiais para pavimentação, estudo de fundação dos aterros, estudo dos locais das fundações das obras de arte especiais e estudo de estabilidade dos taludes.	IS-206, DNER PRO 381/98, DNER-PRO 257/99
Estudos Hidrológicos	Incluem coleta de dados hidrológicos e definição das bacias de contribuição, com levantamentos topo-hidrológicos nas travessias dos principais cursos d'água, que possibilitem a elaboração de plantas compatíveis para o projeto de implantação de pontes ou bueiros celulares de grandes dimensões.	IS-203
Estudos Topográficos	Necessários para definição das alternativas de traçado. Engloba locação do eixo no projeto, nivelamento do eixo, levantamento das seções transversais, levantamento de ocorrências de materiais, levantamentos para áreas específicas e levantamento cadastral da faixa de domínio.	ABNT-NBR 13133/94, IS-204
Estudo de Tráfego	Estima o volume de tráfego e subsidia os projetos da superestrutura, fornecendo subsídios ao dimensionamento do pavimento. Objetiva avaliar a suficiência do sistema de transportes existentes, servir de subsídio para definição do traçado e padrão da rodovia, definição de classe da rodovia a ser implantada, dimensionamento das características técnicas, determinação das características operacionais da rodovia e fomento de insumos para análise de viabilidade econômica.	Manual de Estudos de Tráfego DNIT IPR-723

FONTE: ABNT, 1994; DNER, 1998; DNER, 1999; DNIT, 2006.

No que se refere ao projeto, são realizados Estudos Preliminares de Engenharia em duas fases, sendo elas: preliminar e definitiva. A preliminar corresponde à coleta, compilação, análise de dados e elementos disponíveis, assim

como o estudo das alternativas de traçado e uma estimativa sucinta dos custos de implantação. Enquanto a fase definitiva é voltada para a análise e avaliação das alternativas e a definição de suas concepções geométricas. Os estudos abordam as seguintes atividades: definição das diretrizes tecnicamente possíveis da rodovia, determinação da viabilidade física das alternativas indicadas como sendo as adequadas pelos estudos de tráfego, definição de soluções básicas para a elaboração desembaraçadas dos trabalhos mais detalhados nos estudos posteriores, estimativas dos custos de construção e desapropriação para a avaliação econômica e financeira (DNIT, 2006).

A etapa relativa ao projeto de infraestrutura engloba: o projeto geométrico, de terraplenagem, drenagem e Obras de Arte Corrente (OAC), com procedimentos metodológicos detalhados no Manual de Implantação Básica do DNER (1996).

O QUADRO 4 apresenta os estudos e normativas que regulamentam cada etapa dos projetos de empreendimentos rodoviários no Brasil.

QUADRO 4 - ESTUDOS E NORMATIVAS NECESSÁRIOS AOS PROJETOS

(continua)

Projeto	Descrição	Normativas
Projeto de terraplenagem	Desenvolvido em duas fases de projeto, englobando a determinação dos volumes de terraplenagem, determinação dos locais de empréstimos e bota-fora e apresentação de quadros de distribuição e orientação do movimento de terra.	IS-209
Projeto de drenagem	Se destina à escolha da melhor solução para o escoamento de águas superficiais e transposição de corpos hídricos, bem como manutenção dos níveis subterrâneos por drenagem subsuperficial. O projeto de drenagem é definido por meio de alguns pontos bases, tais como: estimativa de custos, número, localização provável, entre outros. São condicionantes do projeto os estudos hidrológicos, projetos geométricos, de terraplenagem e de pavimentação e estudos geotécnicos.	IS-210
Projeto de pavimentação	É realizado por fases de Projeto Básico e a de Projeto Executivo, contemplando a concepção do projeto de pavimentação, seleção das ocorrências de materiais a serem indicadas no projeto, dimensionamento e concepção do projeto por subtrecho homogêneo, cálculo dos volumes e distâncias de transporte dos materiais empregados.	IS-211

FONTE: ABNT, 1994; DNER, 1998; DNER, 1999; DNIT, 2006.

QUADRO 4 - ESTUDOS E NORMATIVAS NECESSÁRIOS AOS PROJETOS

(continuação)

Projeto	Descrição	Normativas
Projeto de Interseções, retornos e acessos	Tem por objetivo definir e especificar os serviços constantes do projeto de interseções, retornos e acessos. Seu desenvolvimento também é separado nas etapas de projeto básico e fase de projeto executivo. No projeto básico é justificada a solução adotada, desenvolvido o projeto gráfico planialtimétrico e as seções transversais típicas. Na fase de projeto executivo é realizado o detalhamento da concepção do projeto.	IS-213
Projeto de sinalização	Deverá seguir as recomendações do Manual de Sinalização Rodoviária do DNIT e o Manual de Sinalização de Trânsito – DENATRAN, englobando projeto de sinalização horizontal das vias, projeto de sinalização vertical das vias, projeto de sinalização dinâmica por semáforos e painéis de mensagens variáveis.	IS-215, DNER-ME 368, DNER-ME 371, DNER-ME 372 e DNER-ME 373
Projeto de Obras Complementares	Tem por objetivo definir e especificar serviços constantes não englobados na infra ou superestrutura do projeto. É realizado em duas fases, sendo o Projeto Básico e o Projeto Executivo. Na fase de projeto básico, deverá constar a definição dos dispositivos de segurança, as estimativas das quantidades de serviços e os custos estimados. Enquanto na fase de projeto executivo, deverá ser realizado o detalhamento das soluções propostas no projeto básico, assim como, a execução das notas de serviço e a montagem do orçamento e Projeto de Execução da Obra.	IS-217 e de acordo com as normas ABNT e DNER
Projeto de Cercas	Tem como objetivo a definição dos tipos de cerca a serem empregados e estimativa das quantidades e custos, com detalhamento das soluções propostas, elaboração de notas de serviço e montagem de orçamentos e projeto de execução de obra.	IS-218, DNER-ES 338, DNER-EM 366, DNER-EM 033 e DNER-EM 174

FONTE: ABNT, 1994; DNER, 1998; DNER, 1999; DNIT, 2006.

Posteriormente à elaboração do projeto, a Licença de Instalação (LI) fica condicionada à aprovação das especificações constantes dos planos, programas e projetos apresentados, incluindo medidas de controle ambiental (PIMENTA et. al., 2014). Após a emissão da LI para a execução da obra é necessária a realização de Projetos de Engenharia Rodoviária, contendo: plano de ataque dos serviços, cronogramas, dimensionamento e *layout* das instalações necessárias à execução dos serviços.

A IS-222 do Manual de Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários do DNIT regulamenta a apresentação do Plano de Execução da Obra (DNIT, 2006).

Na construção de uma rodovia são necessários cortes e aterros e, esses serviços de terraplenagem demandam a utilização de diversos equipamentos. Para

a execução da obra são necessários o canteiro de serviços e instalações, os equipamentos, a segurança operacional, o controle de qualidade e os trabalhadores da obra.

A localização das áreas de apoio deve considerar diversos fatores como a topografia, as condições de acesso, a infraestrutura de energia, a ocorrência de água, entre outros – com objetivo de racionalidade de gerenciamento, integração dos funcionários ao empreendimento e redução de custos de produção (DNIT, 2010).

2.1.2 Impactos ambientais de obras rodoviárias

A menor interferência ambiental possível em um empreendimento rodoviário é passível de atingimento caso sejam identificados previamente os aspectos ambientais que possam impactar características da área de implantação do empreendimento, devido às atividades de planejamento, instalação e operação.

Impacto ambiental, para Wathern (1988), tem por definição "a *mudança em um parâmetro ambiental, num determinado período e numa determinada área, que resulta de uma atividade, comparada com a situação que ocorreria se essa atividade não tivesse sido iniciada*". A Resolução CONAMA Nº 01 de janeiro de 1986, no entanto, define impacto ambiental como:

> "Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e a qualidade dos recursos ambientais."(CONAMA, 2010, p. 1)

Os impactos ambientais de obras rodoviárias necessitam de cuidadosa identificação e categorização dos impactos e se destina a evitar ou mitigar os efeitos de potenciais danos a serem causados no meio ambiente.

O QUADRO 5 apresenta a lista dos impactos considerados pelo DNIT como decorrentes das intervenções de obras rodoviárias sobre o meio ambiente na fase de planejamento de obras, o QUADRO 6 apresenta os impactos previstos na fase de implantação, e o QUADRO 7 na fase de operação da rodovia (DNIT, 2006).

QUADRO 5 - LISTAGEM DE IMPACTOS AMBIENTAIS DE OBRAS RODOVIÁRIAS NA FASE DE PLANEJAMENTO

(continua)

Fase	Ação	Impactos ambientais	Natureza	Efeito	Localização	Durabilidade	Temporalidade	Reversibilidade	Medidas mitigadoras
PLANEJAMENTO	Estudo de Viabilidade	Geração de renda e emprego	Benéfico	Direto	Regional	Temporário	Imediato	Reversível	Não necessária mitigação, impacto positivo
		Expectativa de desenvolvimento regional	Benéfico[1]	Direto	Regional	Temporário	Imediato	Reversível	Não necessária mitigação, impacto positivo
		Especulação imobiliária	Adverso	Indireto	Regional	Temporário	Imediato, médio e longo prazo	Reversível	Compatibilidade com planos e programas governamentais
		Geração de conflitos de uso e ocupação do solo	Adverso	Direto	Regional	Temporário	Imediato, médio e longo prazo	Reversível	Avaliação dos conflitos de uso e operação do solo, considerações dos recursos ambientais e Unidades de Conservação
		Pressão sobre patrimônio natural e cultural	Adverso	Direto/ Indireto	Regional	Temporário	Imediato, médio e longo prazo	Reversível	Proteção do patrimônio natural e cultural
		Tensão social	Adverso	Indireto	Regional	Temporário	Imediato, médio e longo prazo	Reversível	Discussão das alternativas de traçado
	Estudo de traçado/Projeto básico	Geração de renda e emprego	Benéfico	Direto	Regional estratégico	Temporário	Imediato, médio e longo prazo	Reversível	Não necessária mitigação, impacto positivo
		Perspectiva de desenvolvimento regional	Benéfico	Indireto	Regional	Permanente	Médio e longo prazo	Reversível	Não necessária mitigação, impacto positivo

FONTE: Adaptado de DNER 1998; DNIT, 2006.

[1] Salvo casos específicos, como no caso de áreas de conservação, onde o desenvolvimento regional não necessariamente se caracteriza como impacto positivo, havendo impactos induzidos de natureza negativa.

QUADRO 5 - LISTAGEM DE IMPACTOS AMBIENTAIS DE OBRAS RODOVIÁRIAS NA FASE DE PLANEJAENTO

(conclusão)

Fase	Ação	Impactos ambientais	Natureza	Efeito	Localização	Durabilidade	Temporalidade	Reversibilidade	Medidas mitigadoras
PLANEJAMENTO	Estudo de traçado/Projeto básico	Melhoria de infraestrutura	Benéfico	Direto	Regional estratégico	Permanente	Médio e longo prazo	Irreversível	Não necessária mitigação, impacto positivo.
		Especulação imobiliária	Adverso	Indireto	Regional	Temporário	Imediato e curto prazo	Reversível	Compatibilidade com planos e programas governamentais
		Geração de conflitos de uso e ocupação do solo	Adverso	Direto	Regional	Temporário	Imediato, médio e longo prazo	Reversível	Avaliação dos conflitos de uso e operação do solo, considerações dos recursos ambientais e Unidades de Conservação.
		Pressão sobre patrimônio natural e cultural	Adverso	Direto/ Indireto	Regional	Temporário	Imediato	Reversível	Proteção do patrimônio natural e cultural
		Tensão social	Adverso	Indireto	Regional	Temporário	Imediato e curto prazo	Reversível	Discussão das alternativas de traçado
		Risco de acidentes devido ao aumento do fluxo de tráfego	Adverso	Direto	Local	Permanente	Médio e longo prazo	Reversível	Observação dos aspectos de segurança de tráfego
		Potencial degradação das áreas de intervenção	Adverso	Direto	Regional	Temporário	Imediato e curto prazo	Reversível	Análise das condições físicas, biológicas e socioeconômicas.

FONTE: Adaptado de DNER 1998; DNIT, 2006.

QUADRO 6 - LISTAGEM DE IMPACTOS AMBIENTAIS DE OBRAS RODOVIÁRIAS NA FASE DE IMPLANTAÇÃO

(continua)

Fase	Ação	Impactos ambientais	Natureza	Efeito	Localização	Durabilidade	Temporalidade	Reversibilidade	Medidas mitigadoras
IMPLANTAÇÃO	Desapropriação de terras	Parcelamento do solo e alteração da modalidade de uso	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato	Irreversível	Estudo de alternativas de traçado
		Tensão social	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato	Irreversível	Avaliação real do patrimônio
		Deslocamento de população	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato	Irreversível	Planejamento de assentamento
		Perdas de áreas produtivas e realocação de infraestrutura	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato	Irreversível	Estudo de alternativas de traçado
	Alocação de mão-de-obra	Geração de renda e emprego	Benéfico	Direto	Local	Permanente	Imediato	Irreversível	Não necessária mitigação, impacto positivo.
		Geração de impostos e tributos	Benéfico	Direto	Local	Permanente	Imediato	Irreversível	Não necessária mitigação, impacto positivo.
		Incremento de estrutura produtiva e estrutura de serviços	Benéfico	Direto	Local	Permanente	Imediato	Irreversível	Não necessária mitigação, impacto positivo.
		Potencial de atração de imigrantes	Adverso	Direto	Local	Temporário	Imediato	Reversível	Recrutamento de mão-de-obra local
		Aumento dos riscos de doenças socialmente transmissíveis	Adverso	Direto	Local	Temporário	Imediato	Reversível	Prevenção e controle da saúde humana

FONTE: Adaptado de DNER 1998; DNIT, 2006.

QUADRO 6 – LISTAGEM DE IMPACTOS AMBIENTAIS DE OBRAS RODOVIÁRIAS NA FASE DE IMPLANTAÇÃO

(continuação)

Fase	Ação	Impactos ambientais	Natureza	Efeito	Localização	Durabilidade	Temporalidade	Reversibilidade	Medidas mitigadoras
IMPLANTAÇÃO	Alocação de mão-de-obra	Aumento da demanda de infraestrutura urbana	Adverso	Direto	Local	Temporário	Imediato	Reversível	Assistência social e segurança pública
		Alteração de hábitos e costumes	Adverso	Direto	Local	Temporário	Imediato	Reversível	Aplicação de recursos em investimentos sociais
	Infraestrutura e Obras de Apoio	Alteração do perfil das encostas	Adverso	Direto	Local	Temporário	Imediato	Reversível	Implantação em terrenos adequados
		Disposição de efluentes do solo	Adverso	Direto	Local	Temporário	Imediato	Reversível	Controle de drenagem
		Contaminação de águas superficiais e subterrâneas	Adverso	Direto	Local	Temporário	Imediato	Reversível	Controle de efluentes e resíduos sólidos
		Remoção da cobertura vegetal	Adverso	Direto	Local	Temporário	Imediato	Reversível	Reabilitação das áreas degradadas
		Conflito de uso do solo	Adverso	Direto	Local	Temporário	Imediato	Reversível	Avaliação dos conflitos de uso e operação do solo
IMPLANTAÇÃO	Remoção da cobertura vegetal	Alteração de microclima	Adverso	Indireto	Local	Permanente	Imediato	Reversível	Desmate restrito às áreas de intervenção e revegetação da Faixa de Domínio
		Degradação de solos	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato	Reversível/Irreversível	Desmate restrito às áreas de intervenção e revegetação da Faixa de Domínio

FONTE: Adaptado de DNER 1998; DNIT, 2006.

QUADRO 6 – LISTAGEM DE IMPACTOS AMBIENTAIS DE OBRAS RODOVIÁRIAS NA FASE DE IMPLANTAÇÃO

(continuação)

Fase	Ação	Impactos ambientais	Natureza	Efeito	Localização	Durabilidade	Temporalidade	Reversibilidade	Medidas mitigadoras
IMPLANTAÇÃO	Terraplenagem	Alteração da paisagem e degradação do patrimônio natural e cultural	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato	Irreversível	Proteção do patrimônio natural e cultural
		Modificação na forma de ocupação do solo	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato	Irreversível	Limitação da área de intervenção
	Remoção de rocha	Emissão de gases e material particulado	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato	Irreversível	Plano de fogo adequado
		Ruídos e vibrações	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato	Irreversível	Plano de fogo adequado
		Alteração do perfil das encostas	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato	Irreversível	Controle de estabilidade geotécnica
		Degradação dos solos e riscos de erosão	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato	Irreversível	Controle de erosão e reabilitação das áreas degradadas
		Alteração da paisagem e degradação do patrimônio natural e cultural	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato	Irreversível	Proteção do patrimônio natural e cultural
	Túneis	Ruídos e vibrações	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato	Reversível	Plano de fogo adequado e controle de estabilidade geotécnica

FONTE: Adaptado de DNER 1998; DNIT, 2006.

QUADRO 6 – LISTAGEM DE IMPACTOS AMBIENTAIS DE OBRAS RODOVIÁRIAS NA FASE DE IMPLANTAÇÃO

(continuação)

Fase	Ação	Impactos ambientais	Natureza	Efeito	Localização	Durabilidade	Temporalidade	Reversibilidade	Medidas mitigadoras
IMPLANTAÇÃO	Túneis	Alteração na drenagem e recarga de aquíferos	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato, médio e longo prazo	Irreversível	Controle da drenagem interna e externa
		Alteração da paisagem e degradação do patrimônio natural e cultural	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato, médio e longo prazo	Irreversível	Proteção do patrimônio natural e cultural
	Extração de minerais Classe II (brita, areia, cascalho)	Emissão de material particulado	Adverso	Direto	Local	Temporário	Imediato	Reversível	Plano de fogo adequado
		Ruídos e vibrações	Adverso	Direto	Local	Temporário	Imediato	Reversível	Plano de fogo adequado
		Alteração do perfil das encostas	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato, médio e longo prazo	Irreversível	Controle de estabilidade geotécnica
		Degradação dos solos e riscos de erosão	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato, médio e longo prazo	Irreversível	Controle de erosão e reabilitação das áreas degradadas
		Poluição hídrica e degradação dos ecossistemas aquáticos	Adverso	Indireto	Local	Permanente	Imediato	Irreversível	Proteção de nascentes e cursos d'água
		Alteração da paisagem e degradação do patrimônio natural e cultural	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato	Irreversível	Proteção do patrimônio natural e cultural

FONTE: Adaptado de DNER 1998; DNIT, 2006.

QUADRO 6 – LISTAGEM DE IMPACTOS AMBIENTAIS DE OBRAS RODOVIÁRIAS NA FASE DE IMPLANTAÇÃO

(continuação)

Fase	Ação	Impactos ambientais	Natureza	Efeito	Localização	Durabilidade	Temporalidade	Reversibilidade	Medidas mitigadoras
IMPLANTAÇÃO	Extração de minerais Classe II (brita, areia, cascalho)	Degradação da vegetação	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato	Reversível	Avaliação ambiental dos locais dos jazimentos
	Preparação da Base e Pavimentação	Alteração do microclima	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato, médio e longo prazo	Irreversível	Revegetação adequada da Faixa de Domínio
		Ruídos e vibrações	Adverso	Direto	Local	Temporário	Imediato	Reversível	Monitorização e controle dos ruídos e vibrações
		Alteração no "*run-off*"	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato, médio e longo prazo	Irreversível	Dimensionamento adequado do sistema de drenagem
	Acessos de Serviços	Alteração do perfil das encostas	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato, médio e longo prazo	Irreversível	Restrição à abertura de vias de acesso
		Degradação dos solos e riscos de erosão	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato, médio e longo prazo	Irreversível	Controle de reabilitação das áreas degradadas
		Aumento da carga sólida e redução da disponibilidade hídrica	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato, médio e longo prazo	Irreversível	Proteção de nascentes e cursos d'água
		Degradação da vegetação, da paisagem e do patrimônio natural e cultural	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato, médio e longo prazo	Irreversível	Proteção do patrimônio natural e cultural

FONTE: Adaptado de DNER 1998; DNIT, 2006.

QUADRO 6 – LISTAGEM DE IMPACTOS AMBIENTAIS DE OBRAS RODOVIÁRIAS NA FASE DE IMPLANTAÇÃO

(conclusão)

Fase	Ação	Impactos ambientais	Natureza	Efeito	Localização	Durabilidade	Temporalidade	Reversibilidade	Medidas mitigadoras
IMPLANTAÇÃO	Obras e Drenagem	Degradação dos solos e riscos de erosão	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato	Irreversível	Dimensionamento adequado do sistema de drenagem
		Alteração no "*run-off*"	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato, médio e longo prazo	Irreversível	Dissipação de energia e controle de erosão
	Obras de Arte	Degradação de vegetação ciliar	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato, médio e longo prazo	Irreversível	Limitação da área de intervenção e redução das áreas de desmate
		Alteração da paisagem e degradação do patrimônio natural e cultural	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato, médio e longo prazo	Irreversível	Proteção do patrimônio natural e cultural
		Alteração da modalidade de uso do solo	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato, médio e longo prazo	Irreversível	Reabilitação das áreas degradadas
	Usina de asfalto	Emissão de gases e material particulado	Adverso	Direto	Local	Temporário	Imediato	Reversível	Implantação de sistema de tratamento de emissões
		Ruídos e vibrações	Adverso	Direto	Local	Temporário	Imediato	Reversível	Monitorização e controle dos ruídos e vibrações
		Alteração da paisagem e conflito de uso do solo local	Adverso	Direto	Local	Temporário	Imediato	Reversível	Avaliação ambiental dos locais de reabilitação das áreas degradadas

FONTE: Adaptado de DNER 1998; DNIT, 2006.

QUADRO 7 - LISTAGEM DE IMPACTOS AMBIENTAIS DE OBRAS RODOVIÁRIAS NA FASE DE OPERAÇÃO

(continua)

Fase	Ação	Impactos ambientais	Natureza	Efeito	Localização	Durabilidade	Temporalidade	Reversibilidade	Medidas mitigadoras
OPERAÇÃO	Abertura de tráfego	Emissão de gases particulados	Adverso	Direto	Regional	Permanente	Imediato, médio e longo prazo	Irreversível	Monitorização e controle das emissões atmosféricas
		Aumento de pressão sonora	Adverso	Direto	Regional	Permanente	Imediato, médio e longo prazo	Irreversível	Monitorização e controle dos ruídos
		Riscos de acidentes devido ao aumento do fluxo de tráfego	Adverso	Direto	Local	Permanente	Imediato, médio e longo prazo	Irreversível	Sinalização de segurança e fiscalização de tráfego
		Geração de impostos e tributos	Benéfico	Indireto	Regional	Permanente	Imediato, médio e longo prazo	Irreversível	Não necessária mitigação, impacto positivo
		Fomento da estrutura produtiva e de serviços	Benéfico	Indireto	Regional	Permanente	Imediato, médio e longo prazo	Irreversível	Não necessária mitigação, impacto positivo
		Melhoria do fluxo de circulação de mercadorias e produtos	Benéfico	Direto	Regional	Permanente	Imediato, médio e longo prazo	Irreversível	Não necessária mitigação, impacto positivo
		Indução do crescimento econômico	Benéfico	Indireto	Regional	Permanente	Imediato, médio e longo prazo	Irreversível	Não necessária mitigação, impacto positivo
		Melhoria do nível de vida	Benéfico	Indireto	Regional	Permanente	Médio e longo prazo	Irreversível	Não necessária mitigação, impacto positivo

FONTE: Adaptado de DNER 1998; DNIT, 2006.

QUADRO 7 – LISTAGEM DE IMPACTOS AMBIENTAIS DE OBRAS RODOVIÁRIAS NA FASE DE OPERAÇÃO

(conclusão)

Fase	Ação	Impactos ambientais	Natureza	Efeito	Localização	Durabilidade	Temporalidade	Reversibilidade	Medidas mitigadoras
OPERAÇÃO	Conservação e manutenção	Acompanhamento e controle de erosão e reabilitação de áreas degradadas	Benéfico	Direto	Regional	Permanente	Curto prazo	Irreversível	Não necessária mitigação, impacto positivo
		Proteção e limpeza da faixa de domínio	Benéfico	Direto	Regional	Permanente	Curto prazo	Irreversível	Não necessária mitigação, impacto positivo
		Campanhas de educação ambiental e de trânsito	Benéfico	Direto	Regional	Permanente	Curto prazo	Irreversível	Não necessária mitigação, impacto positivo
		Proteção da sinalização de segurança	Benéfico	Direto	Regional	Permanente	Curto prazo	Irreversível	Não necessária mitigação, impacto positivo

FONTE: Adaptado de DNER 1998; DNIT, 2006.

2.1.3 Estudo de traçado de obras rodoviárias

A determinação do traçado é parte essencial do projeto geométrico de uma rodovia. Parâmetros de terreno devem ser considerados, bem como ambientais e sociais, de modo a definir a diretriz de acordo com as limitações impostas pelo Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (DNIT, 1999).

As alternativas de traçado avaliadas durante o estudo locacional impactam diretamente a qualidade final da via a ser construída, pois a escolha depende do padrão das alternativas disponíveis e, consequentemente, dos parâmetros utilizados para tal escolha. Portanto, é primordial a consideração de aspectos ambientais, econômicos e sociais de maneira conjunta na definição do traçado (STEINEMANN, 2001).

Parte integrante do projeto preliminar de uma rodovia, o Estudo de Traçado tem por objetivo delimitar locais convenientes para passagem da via, usualmente envolvendo etapas de reconhecimento e exploração de modo a resultar em alternativa viável técnica e economicamente. Para a realização de um estudo de traçado são necessários dados precisos dos aspectos geológicos, geotécnicos, hidrográficos, fluviométricos, socioeconômicos e ambientais da área em estudo. Nessa fase é realizada a identificação de alternativas de traçado e possíveis diretrizes, além do estabelecimento de critérios para a via, criação de planos funcionais preliminares e uma avaliação comparativa das opções elencadas (LEE, 2009).

A Instrução de Serviço nº 207, de 2006 do DNIT prescreve que sejam determinadas as principais condicionantes existentes, projetadas ou planejadas, relativas ao uso do solo, a redes de serviços públicos, aos controles geográficos ou geotécnicos.

Uma avaliação comparativa das alternativas operacionais e de traçado deverá ser realizada para completar a fase preliminar do estudo, abrangendo aspectos básicos técnicos de traçado e topografia; elementos funcionais como controle de acesso, interseções e aumento de nível de serviço; dimensões econômicas a partir de uma análise básica das alternativas entre si e da situação existente. Tal análise deve ainda conter uma comparação de custos de implantação, ressaltando benefícios operacionais e ambientais (DNIT, 2006).

Na fase definitiva do estudo devem ser considerados os dados da fase preliminar e também obras de arte especiais a serem implantadas, a faixa de domínio a ser considerada na extensão da via, a pavimentação empregada, estudos ambientais e uma estimativa preliminar de custos para a seleção da alternativa de traçado (DNIT, 2006).

2.1.4 Licenciamento ambiental de obras rodoviárias

O processo de licenciamento ambiental se destina a avaliar as propostas de empreendimentos sob a ótica de um poder regulamentador, passando pelos Órgãos Ambientais Públicos competentes, que avaliam o potencial lesivo que estas possam representar ao meio ambiente.

Trata-se do Princípio da Prevenção, com o fundamento de que é preciso realizar avaliações prévias a implantação de empreendimentos potencialmente poluidores, a fim de se mitigar ou até mesmo eliminar determinados impactos ambientais (GUIMARÃES, et. al., 2012).

2.1.4.1 Legislação Brasileira

No Brasil, a primeira menção à Avaliação de Impactos Ambientais se deu em 1975, na legislação do estado do Rio de Janeiro relativa a poluentes atmosféricos. Somente na década de 80 se passou ao nível federal a noção de impacto ambiental (SANCHEZ, 2014).

Na legislação brasileira, foi estabelecido o Plano Nacional de Meio Ambiente (PNMA) por meio da Lei nº 6.938/1981, que determinou a criação do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) e do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 1981).

O SISNAMA consiste num conglomerado de órgãos federais com o objetivo central de proteção e melhoria da qualidade ambiental, enquanto o CONAMA é o órgão consultivo e deliberativo ao qual compete a criação de normas e critérios relativos ao licenciamento ambiental (BRASIL, 1989).

O QUADRO 8 apresenta a coletânea das legislações e normativas que devem ser consideradas no licenciamento ambiental de obras rodoviárias.

QUADRO 8 - LEGISLAÇÃO FEDERAL

(continua)

Documento Normativo	Epígrafe
Constituição da República Federativa do Brasil	Nós, representantes do povo brasileiro, reunidos em Assembleia Nacional Constituinte para instituir um Estado Democrático, destinado a assegurar o exercício dos direitos sociais e individuais, a liberdade, a segurança, o bem-estar, o desenvolvimento, a igualdade e a justiça como valores supremos de uma sociedade fraterna, pluralista e sem preconceitos, fundada na harmonia social e comprometida, na ordem interna e internacional, com a solução pacífica das controvérsias, promulgamos, sob a proteção de Deus, a seguinte Constituição Da República Federativa Do Brasil.
Lei nº 6.938/1981	Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.
Lei nº 9.985/2000	Regulamenta o artigo 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências.
Lei nº 12.651/2012	Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.
Lei nº 12.727/2012	Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a Medida Provisória nº 2.166- 67, de 24 de agosto de 2001, o item 22 do inciso II do art. 167 da Lei nº 6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2º do art. 4º da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.
Lei nº 9.433/1997	Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do artigo 21 da Constituição Federal, e altera o artigo 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.
Lei nº 9.984/2000	Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências.
Lei nº 3.924/1961	Dispõe sobre os monumentos arqueológicos e pré-históricos.
Lei nº 7.804/1989	Altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, a Lei nº 7.735, de 22 de fevereiro de 1989, a Lei nº 6.803, de 2 de julho de 1980, e dá outras providências.
Lei nº 8.028/1990	Dispõe sobre a organização da Presidência da República e dos Ministérios, e dá outras providências.

FONTE: ITTI/UFPR, 2019.[2]

[2] Trabalho não publicado.

QUADRO 8 – LEGISLAÇÃO FEDERAL

(continuação)

Documento Normativo	Epígrafe
Lei nº 6.766/1979	Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências.
Lei nº 5.197/1967	Dispõe sobre a proteção à fauna e dá outras providências.
Lei nº 7.797/1989	Cria o Fundo Nacional de Meio Ambiente e dá outras providências.
Lei nº 9.605/1998	Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.
Lei nº 11.428/2006	Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências..
Decreto nº 99.274/1990	Regulamenta a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõem, respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências.
Decreto nº 4.340/2002	Regulamenta artigos da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC, e dá outras providências.
Decreto nº 5.092/2004	Define regras para identificação de áreas prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade, no âmbito das atribuições do Ministério do Meio Ambiente.
Decreto nº 6.848/2009	Altera e acrescenta dispositivos ao Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002, para regulamentar a compensação ambiental.
Decreto nº 24.643/1934	Decreta o Código de Águas.
Decreto-Lei nº 3.763/1941	Consolida disposições sobre águas e energia elétrica, e dá outras providências
Decreto nº 6.040/2007	Institui a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável dos Povos e Comunidades Tradicionais.
Decreto nº 6.640/2008	Dá nova redação aos arts. 1º, 2º, 3º, 4º e 5º e acrescenta os arts. 5-A e 5-B ao Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990, que dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional.
Decreto nº 2.612/1998	Regulamenta o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, e dá outras providências.
Decreto nº 6.514/2008	Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências.
Decreto nº 3.524/2000	Regulamenta a Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente e dá outras providências.
Decreto nº 97.633/1989	Dispõe sobre o Conselho Nacional de Proteção à Fauna - CNPF, e dá outras providências.
Decreto nº 99.556/1990	Dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existente no território nacional, e dá outras providências.
Decreto-Lei nº 3.365/1940	Dispõe sobre desapropriações por utilidade pública.
Portaria Interministerial nº 60/2015	Estabelece procedimentos administrativos que disciplinam a atuação dos órgãos e entidades da administração pública federal em processos de licenciamento ambiental de competência do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA.
Resolução CONAMA nº 01/1986	Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental.
Resolução CONAMA nº 01/1990	Dispõe sobre os critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política.

FONTE: ITTI/UFPR, 2019.

QUADRO 8 – LEGISLAÇÃO FEDERAL

(conclusão)

Documento Normativo	Epígrafe
Resolução CONAMA nº 05/1987	Dispõe sobre o Programa Nacional de Proteção ao Patrimônio Espeleológico, e dá outras providências.
Resolução CONAMA nº 09/1987	Dispõe sobre a questão de Audiências Públicas.
Resolução CONAMA nº 237/1997	Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente.
Resolução CONAMA nº 303/2002	Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente.
Resolução CONAMA nº 347/2004	Dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico.
Resolução CONAMA nº 357/2005	Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
Resolução CONAMA nº 369/2006	Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente-APP.
Resolução CONAMA nº 371/2006	Estabelece diretrizes aos órgãos ambientais para o cálculo, cobrança, aplicação, aprovação e controle de gastos de recursos advindos de compensação ambiental, conforme a Lei no 9.985, de 18 de julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza-SNUC e dá outras providências.
Resolução CONAMA nº 428/2010	Dispõe, no âmbito do licenciamento ambiental sobre a autorização do órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação (UC), de que trata o § 3º do artigo 36 da Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000, bem como sobre a ciência do órgão responsável pela administração da UC no caso de licenciamento ambiental de empreendimentos não sujeitos a EIA-RIMA e dá outras providências.
Instrução Normativa IBAMA nº 08/2011	Regulamenta, no âmbito do IBAMA, o procedimento da Compensação Ambiental, conforme disposto nos Decretos nº 4.340, de 22 de agosto de 2002, com as alterações introduzidas pelo Decreto nº 6.848, de 14 de maio de 2009.
Portaria IBAMA nº 37-N/1992	Reconhece como lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção a relação que apresenta.
Portaria IBAMA nº 887/1990	Estabelecer parâmetros do diagnóstico de patrimônio espeleológico natural.
Portaria IPHAN nº 07/1988	Estabelecer os procedimentos necessários à comunicação prévia, às permissões e às autorizações para pesquisas e escavações arqueológicas em sítios arqueológicos previstas na Lei nº 3.924, de 26 de julho de 1961.
Portaria IPHAN nº 230/2002	Compatibiliza as fases de obtenção de licenças ambientais em urgência com os estudos preventivos de arqueologia, objetivando o licenciamento de empreendimentos potencialmente capazes de afetar patrimônio arqueológico.
Portaria MMA nº 126/2004	Reconhecimento de áreas prioritárias para conservação.
Portaria MMA º 9/2007	Altera a Portaria nº 126/2004.
Instrução Normativa FUNAI nº 2/2015	Estabelece procedimentos administrativos a serem observados pela Fundação Nacional do Índio - FUNAI nos processos de licenciamento ambiental dos quais participe.
NBR 10151	Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento
NBR 10152	Níveis de ruídos para conforto acústico.

FONTE: ITTI/UFPR, 2019.

2.1.4.2 Etapas do Licenciamento

O processo de Licenciamento Ambiental envolve órgãos integrantes do SISNAMA nos âmbitos Municipais, Estaduais e Federais, como, o IBAMA, o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICM-Bio), Secretarias de Meio Ambiente, (PIMENTA et. al., 2014).

Órgãos intervenientes ainda podem participar do processo, como é o caso do IPHAN, FUNAI, INCRA e outros a critério do órgão federal responsável pelo licenciamento (IBAMA, 2018).

O procedimento de licenciamento ambiental, em sua plenitude é realizado, normalmente em três etapas, a saber: Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e Licença de Operação (LO).

A Licença Prévia (LP), requerida na fase preliminar do planejamento do empreendimento, tem por objetivo aprovar a localização e concepção do empreendimento; atestar sua viabilidade ambiental; estabelecer requisitos básicos e condicionantes a serem atendidas nas fases subsequentes e exigir do empreendimento a apresentação de medidas de controle dos impactos ambientais que serão causados pela implantação do empreendimento (LOPES, QUEIROZ, REIS, 2012).

Com vistas à obtenção de Licença Prévia elaboram-se Estudos de Impacto Ambiental, contendo diagnóstico e prognóstico ambiental, avaliação de impactos ambientais, estudos de alternativas locacionais, proposição de medidas mitigadoras, compensatórias e programas ambientais.

As fases do Licenciamento Ambiental para empreendimentos rodoviários, que estão apresentadas na FIGURA 2. A figura apresenta ainda o procedimento documental necessário para instauração do processo de licenciamento quando de jurisdição nacional, sendo o órgão competente o IBAMA, direcionado à Diretoria de Licenciamento Ambiental (DILIC).

FIGURA 2 - FASES DO LICENCIAMENTO AMBIENTAL



FONTE: Adaptado de Pimenta et. al, 2014.

2.2 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS

A Avaliação dos Impactos Ambientais (AIA) possui a finalidade de proporcionar uma base de entendimento das alterações ambientais, introduzindo questões de dimensões e da dinâmica desses processos.

Os possíveis impactos são avaliados considerando-se os efeitos previstos pelo desenvolvimento das atividades sobre as condições físicas, biológicas e socioeconômicas do meio ambiente (SÁNCHEZ, 2015).

De acordo com os resultados definidos na AIA, decorre a definição das medidas mitigadoras dos impactos negativos, bem como no auxílio da proposição de programas que reúnem medidas de caráter preventivo, de controle, de monitoramento ou compensatório (PIMENTA et. al., 2014).

Para a AIA, com foco no diagnóstico ambiental, é necessário delimitar as áreas do empreendimento (área de influência direta e indireta), que direta ou indiretamente afetam:

I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
II – as atividades sociais e econômicas;
III - a biota;
IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
V - a qualidade dos recursos ambientais. (MMA, 1986).

Ainda, segundo Sánchez (2014), o processo de AIA no Brasil possui três fases principais: o desenvolvimento, a consolidação e a aplicação de práticas, tendo se diferenciado ao longo dos anos com avanços na legislação e sua aplicabilidade.

2.2.1 Métodos de Avaliação de Impactos Ambientais

Os métodos de Avaliação de Impactos Ambientais (métodos de AIA) são empregados para diversos tipos de empreendimentos e operações, apresentando caráter subjetivo (CREMONEZ et. al., 2014).

Não há um modelo específico que possa ser atribuído a todos os tipos de empreendimentos, sendo necessário por vezes a combinação de métodos, a fim de

se obter uma melhor identificação e avaliação dos impactos ambientais em cada fase do projeto (MORAIS e D'AQUINO, 2016).

A seguir estão descritos os principais métodos encontrados na literatura.

2.2.1.1 Método *Ad-hoc*

O método *Ad-hoc* exige que a realização da AIA seja feita por uma equipe multidisciplinar capacitada, visto que depende da realização de *brainstorms* entre especialistas, especificamente para o projeto em estudo.

O produto da análise se dá por meio de tabelas e matrizes (MAIA, 1999; MORAIS e D'AQUINO, 2016; CPT, 2019).

2.2.1.2 Método de Checklist

O método do *Checklist,* ou listagem de controle, é similar ao *Ad-hoc*, com uma listagem determinada por grupo de especialistas, porém determinando fatores e componentes ambientais potencialmente impactantes para o empreendimento em análise (CREMONEZ et. al., 2014).

O método de *Checklist* pode ser apresentado de quatro maneiras diversas, a saber:

- *Checklis*t Simples, onde uma lista de parâmetros ambientais é identificada com base em literatura e experiência dos profissionais envolvidos;
- C*hecklist* Descritivo, pela identificação dos parâmetros e diretrizes ambientais, incluindo forma de medição dos dados dos parâmetros identificados;
- *Checklis*t Escalar, lista descritiva com dimensionamento subjetivo dos parâmetros;
- *Checklist* Escalar Ponderado, lista escalar com informações de avaliação subjetiva de cada parâmetro, em relação aos outros. (MAIA, 1999; MORAIS e D'AQUINO, 2016).

2.2.1.3 Método da Matriz de Interação

O método da matriz de interação se refere a uma listagem que correlaciona os fatores com as ações. Trata-se de uma análise bidimensional, relacionando as fases construtivas com as características ambientais passíveis de serem afetadas. As quadrículas definidas pela interseção das linhas e colunas representam o impacto de cada ação sobre cada fator ambiental (CREMONEZ et. al., 2014).

Entre as mais utilizadas encontra-se a Matriz de Leopold, que relaciona 100 ações do projeto a 88 fatores ambientais em um total de 8.800 possíveis interseções. São associados julgamentos de magnitude e importância, identificando os impactos por sua natureza positiva ou negativa por seu módulo (PIMENTEL e PIRES, 1992).

2.2.1.4 Método de Redes de Interação

O método de redes interativas se trata de um método sistêmico, que permite simular o projeto antecipadamente, beneficiando a avalição dos parâmetros de forma simultânea.

O método estabelece a sequência de impactos a partir de uma intervenção, com relações do tipo causa e efeito associadas a parâmetros de magnitude, importância e probabilidade. Esse método permite a identificação das ações que possam ser desencadeadas direta ou indiretamente (MORAIS e D'AQUINO, 2016).

2.2.1.5 Método de superposição de cartas

O método da superposição de cartas consiste na montagem de uma série de mapas temáticos, um para cada fator ambiental, analisados em conjunto para compor a síntese da situação ambiental da região.

Trata-se de um método cartográfico, atualmente viabilizado por meio de ferramentas SIG. Sobre esse método, Cremonez et.al. (2014) afirmam:

> "O referido método é de grande utilidade quando se avaliam questões de dimensionamento espacial, como na comparação entre as alternativas analisadas em um Estudo de Impacto Ambiental (EIA), sendo este indicado para complementar outra metodologia de AIA" CREMONEZ *et al* (2014) REMOA - v.13, n.5, dez. 2014, p.3824

2.2.1.6 Métodos de simulação

O método de simulação é constituído por modelos matemáticos, visando a representação de sistemas ambientais. O modelo é formulado em função de um conjunto de hipóteses e funciona através de relações entre componentes quantitativos ou qualitativos, físicos, biológicos ou socioeconômicos (PIMENTEL e PIRES, 1992).

2.2.1.7 Métodos quantitativos

Os métodos quantitativos utilizam um conjunto de valores para considerações avaliadas qualitativamente, a fim de promover uma abordagem sistemática, holística e hierarquizada do meio ambiente.

Esse método utiliza indicadores de qualidade ambiental como parâmetros que recebem valores numéricos, para avaliação sistêmica (CREMONEZ et. al., 2014).

2.2.1.8 Comparação entre os métodos

Embora com o mesmo objetivo, cada método possui vantagens e desvantagens, ou ainda, potencialidades específicas de cada metodologia.

Desse modo, faz-se importante a determinação de qual método será utilizado, em vista das especificidades do projeto ou empreendimento a ser analisado. Em alguns casos, pode ser ainda de valia a utilização de métodos combinados de avaliação de impacto ambiental, a fim de complementar a análise.

O QUADRO 9 a seguir apresentado demonstra um comparativo dos métodos previamente elencados, apontando as principais vantagens e desvantagens de cada um deles, com base nas pesquisas realizadas por Pimentel e Pires (1992) e Moraes e D'Aquino (2016).

QUADRO 9 - COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE AIA

(continua)

Métodos	Vantagens	Desvantagens
Ad-hoc	Forma simples e compreensiva, permite o envolvimento direto dos interessados, adequado para casos de escassez de dados. Fornece orientações para outras avaliações. Estimativa rápida de AIA.	Não aprofunda a avaliação nem os impactos secundários. Não identifica nem examina o impacto de todas as variáveis ambientais. Possível subjetividade dos resultados e não desenvolvimento de análise sistemática em profundidade dos impactos resultantes.
Checklists	Forma concisa, organizada e compreensiva. Adequado para análises preliminares, indicando a priori os impactos mais relevantes. Instiga a avaliação das consequências. Pode, de forma limitada, incorporar escalas de valoração e ponderação. Apresenta bom desempenho em relação a fixação das prioridades e ordenação das informações.	Compartimentação e fragmentação; não evidencia inter-relações entre os fatores ambientais. A identificação dos efeitos é qualitativa e subjetiva. Impossibilidade de identificar impactos secundários e fazer predições. Não capta valores e conflitos. Não ilustração das interações do meio ambiente com os efeitos do projeto. Possibilidade de extensas listas de controle dificultando o entendimento.
Matriz de Interação	Compreensivo para comunicação de resultados. Cobre fatores ambientais naturais e sociais. Acomoda dados quantitativos e qualitativos. Fornece boa orientação para prosseguimento dos estudos. Introduz multidisciplinaridade. Baixo custo. Possibilidade de comparar diversas alternativas de intervenção, abrangendo os meios físico, biótico e socioeconômico.	Não identifica inter-relações, podendo haver dupla contagem dos impactos ou subestimações dos mesmos. Compartimenta o meio ambiente. Baseia-se, principalmente, no meio físico e biótico. Não há critério explícito para estabelecimento dos pesos. Não considera valores e conflitos. Índice global de impacto para avaliação não é pertinente, devido à natureza distinta dos impactos. Subjetividade em relação a magnitude.
Redes de interação	Visualização entre ação e impacto. Avaliação de impactos indiretos. Medidas de mitigação e controle podem ser visualizadas. Possível de informatizar; seleção de prioridades passa a ser feita pelo computador. Mostra tendências. Permite a introdução de parâmetros probabilísticos	Grandes ações resultam em redes extensas e sem valor prático. Dificuldade em distinguir impactos entre curto e longo prazos. Carência de informações dificulta aplicação. Risco de dupla contagem. Não especifica valores. Índice global pode mascarar incertezas nos dados internos. No caso dos diagramas, alguns aspectos são de difícil mensuração em unidades energéticas.
Superposição de cartas	Permite visualizar relação espacial entre fatores ambientais e identificação da extensão dos impactos. Forte poder de síntese e facilita a comparação com e sem o projeto. Útil em grandes projetos e seleção de alternativas, em diagnósticos ambientais e análise de potencialidade de regiões.	Não vê impactos de segunda e terceira ordens. Dificuldade na escolha dos parâmetros a serem mapeados e valorização dos impactos. Uso limitado pela superposição de muitos mapas.

FONTE: Adaptado de Pimentel e Pires (1992) e Moraes e D'Aquino (2016).

QUADRO 9 – COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE AIA

(conclusão)

Métodos	Vantagens	Desvantagens
Modelos de simulação	Explora a não-linearidade e ligações indiretas. Perspectiva temporal. Rapidez pelo uso de computadores. Útil para projeto de usos múltiplos. Ajuda a coleta e organização dos diferentes tipos de dados e a identificação de deficiência desses dados, no estágio inicial do processo. Possibilidade de utilização após o início da operação. Consideração da dinâmica dos sistemas ambientais, suas interações entre fatores e impactos e as variáveis temporais	Complexidade. Depende da disponibilidade e qualidade dos dados. Requer especialistas para o desenvolvimento de modelos matemáticos. Limite de variáveis. Pressupostos e estimativas não são explicitados. Dificuldades de comunicação podem levar a tomada de decisão imperfeita. Por ser um método bastante sofisticado, exige profissionais qualificados e programas computacionais adequados, implicando em altos custos.
Quantitativos	Resultados fornecem boas informações para caracterizar uma situação ambiental e prever impactos. Permite envolvimento de diferentes equipes de especialistas, diminuindo a subjetividade. Explicita bases de cálculo dos índices de julgamento de valor. Compara eficientemente alternativas de um mesmo projeto, por ter sido elaborado para operar quantitativamente	Requer excessivo trabalho preparatório para estabelecer curvas das funções para cada indicador ambiental. Falho na identificação de impactos secundários e terciários. O conceito de qualidade ambiental é vago porque desconsidera a base socioeconômica. Para parâmetros de natureza social e cultural, é questionável a aplicação de funções. Ponderação baseada na opinião de especialistas, não representando os vários públicos envolvidos no processo. Índice global resultado de soma de impactos de natureza distinta

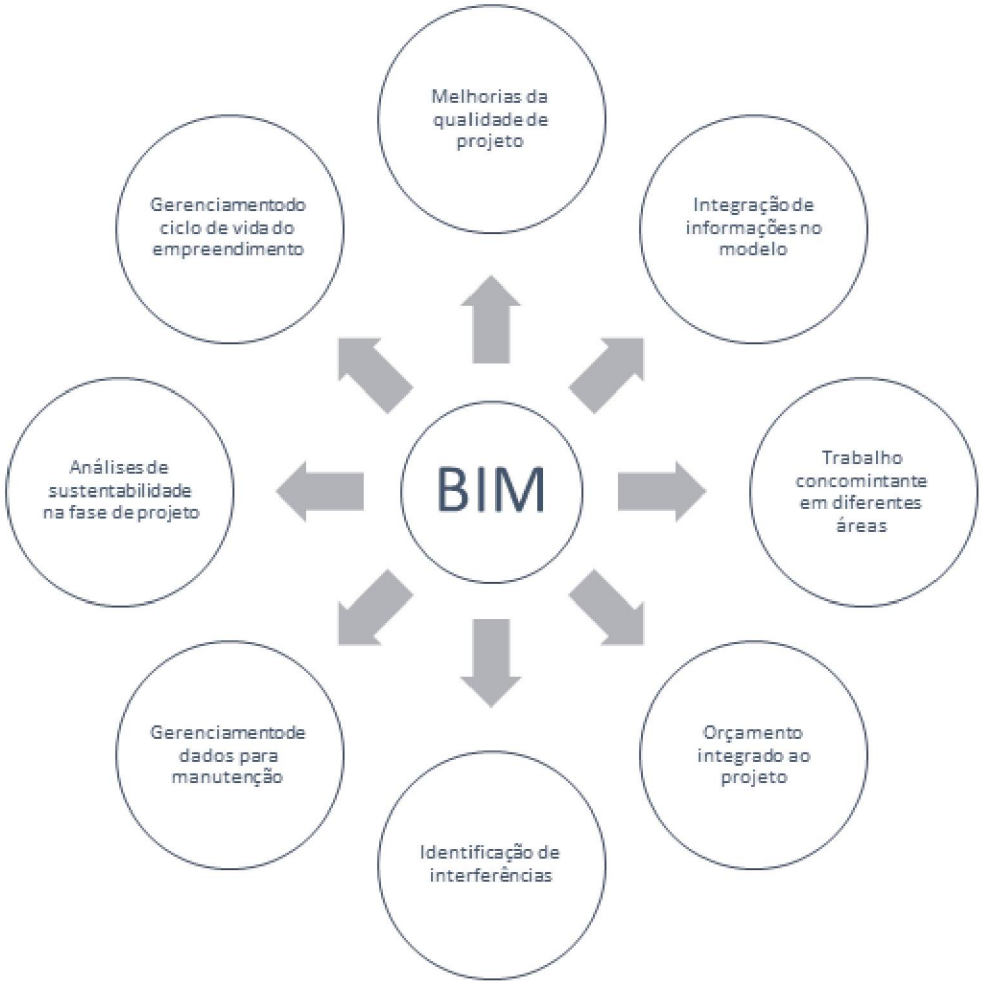
FONTE: Adaptado de Pimentel e Pires (1992) e Moraes e D'Aquino (2016).

2.3 MODELAGEM DE INFORMAÇÕES DA CONSTRUÇÃO (BIM)

O termo BIM, em inglês *Building Information Modeling*, ou Modelagem de Informações da Construção, trata de um processo de projeto colaborativo, com base em informações adicionadas a modelos paramétricos. Através de modelos 2D ou 3D, as informações são embutidas no projeto de forma a criar uma maquete virtual complexa que se mais aproxime da realidade, do que simples representações geométricas (COELHO, 2008).

Com esse sistema pode-se verificar a existência de incompatibilidades, visualizar prazos, custos e outras informações ainda na fase de concepção. Trata-se de um processo de projeto integrado, com o qual todas as áreas se desenvolvem de maneira comunicativa, estando as informações disponíveis de maneira contínua aos colaboradores responsáveis. As vantagens obtidas por meio do uso deste sistema são apresentadas na FIGURA 3 (AEC ASSOCIATES, 2017).

FIGURA 3 - BENEFÍCIOS DE UM SISTEMA BIM



FONTE: Adaptado de AEC Associates (2017)

O objetivo do sistema BIM é criar um modelo paramétrico único, com as informações necessárias à construção e gerenciamento do empreendimento relacionadas por meio de um banco de dados.

Em outras palavras, BIM é um sistema de projetos baseado em modelagem geométrica e parametrização de dados, com base de dados compartilhada entre os documentos referentes a um mesmo projeto, de modo que não existem informações duplicadas ou errôneas circulando durante o planejamento (EASTMAN et. al., 2008).

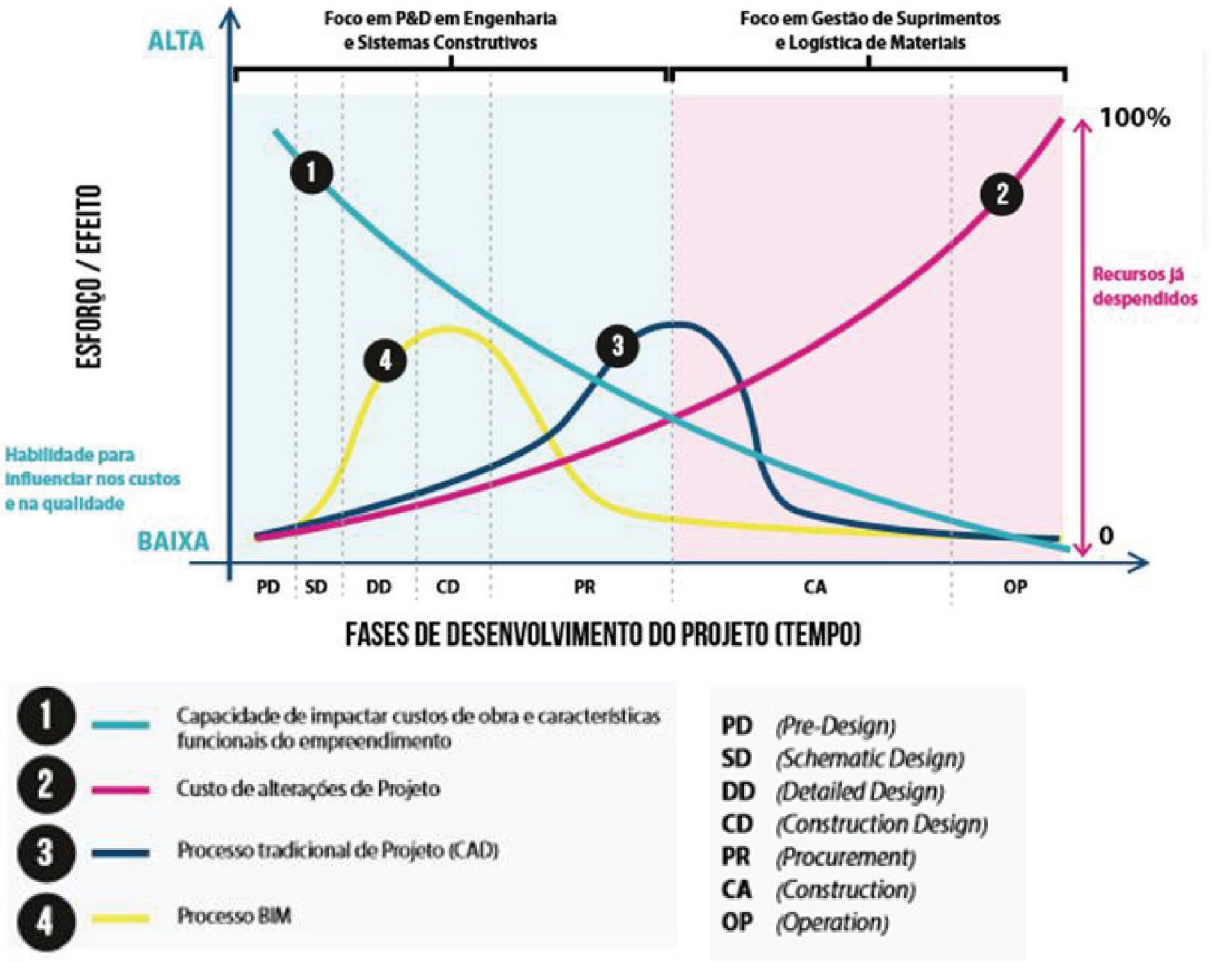
Soluções BIM gerenciam as relações entre elementos construtivos permitindo que as informações sobre o intuito final do projeto sejam adicionadas ao mesmo em sua fase de concepção, pois cada elemento de projeto possui informações de características e de relacionamentos para gerir sua interação com os demais elementos, denominados componentes paramétricos (Eastman et. al., 2008).

Essa característica permite que interferências e erros sejam logo detectados no projeto, reduzindo os custos de alterações futuras.

Durante a fase de projeto o custo para adequar soluções a possíveis problemas é diminuído em relação às despesas geradas quando da criação de soluções durante a execução.

Após o início das obras, a realização de mudanças de projeto afeta áreas já programadas e recursos já utilizados, aumentando o custo total do empreendimento. Com o uso de um sistema BIM, as alterações necessárias podem ser verificadas ainda durante a fase de planejamento, sem a necessidade de despesas com retrabalhos e correções não previstas, como demonstrado na FIGURA 4 (CBIC, 2012).

FIGURA 4 - CURVA DE MACLEAMY



FONTE: CBIC (2012)

Tecnologias BIM necessitam ser capazes de criar e operar em bancos de dados virtuais para colaboração entre os envolvidos; permitem alterações ao longo dessas bases de dados, de modo que determinada mudança realizada em uma parte das informações seja computada por todas as partes; e capturam e preservam informações para possíveis futuras reutilizações por aplicações específicas adicionais ao projeto (YAN e DAMIAN, 2008).

A utilização de sistemas BIM resulta em trabalhos com maior qualidade e produtividade com menores custos para profissionais das indústrias de construção, operação e projeto de empreendimentos. Sendo as informações do arquivo guardadas em formato de banco de dados do modelo a partir de componentes paramétricos, as mudanças que forem realizadas serão automaticamente propagadas e gerenciadas pelo *software* de modelagem ao longo do ciclo de vida do projeto (AUTODESK, 2002).

Uma vez que projetos são criados e documentados há muito tempo em determinada constante evolução de processos, e tendo o sistema BIM se tornado popular de maneira quase concomitante ao surgimento da modelagem 3D, os dois são por vezes confundidos (JAYASENA e WEDDIKKARA, 2013).

Como a modelagem 3D também é uma forma de adicionar informações ao projeto por meio de objetos, esta pode ainda ser caracterizada como BIM em algum nível já que, por definição, BIM é um termo muito abrangente. Entretanto, no contexto atual, a modelagem 3D não paramétrica não caracteriza o processo BIM. O BIM abrange todas as funcionalidades apresentadas pela modelagem 3D, formas 2D e conjuntos de pontos, adicionando a estes significados abstratos ou simbólicos bem como informações quantitativas e qualitativas (YAN e DAMIAN, 2008).

Por operar em bases de dados digitais, a Modelagem de Informações da Construção pode manter, gerenciar e apresentar os dados e informações de maneira apropriada e customizada para cada entidade interessada no projeto, quer sejam engenheiros, projetistas, acionistas, contratantes ou clientes (IBRAHIM e KRAWCZYK, 2003).

O BIM, portanto, se trata muito mais de um processo de projeto, do que de mero sistema de modelagem em si. Como a Modelagem de Informações da Construção se baseia em processos colaborativo, é necessário que todos os envolvidos estejam comprometidos com a mudança (MASOTTI, 2014).

Uma vez implantado, o sistema deve diminuir consideravelmente a quantidade de trabalho necessário para a obtenção de bons resultados. Durante sua fase de implementação novas sistematizações de trabalho deverão ser criadas, para se obter o melhor do processo como um todo. Isso se deve ao fato de a metodologia de criação se utilizar de informações integradas, diferindo significativamente dos métodos tradicionalmente utilizados para a concepção de projetos (HOWELL e BATCHELER, 2005).

A implantação de tecnologia-BIM envolve mudanças radicais de processos e concepções de criação, desde mudanças de programas computacionais até a maneira de se visualizar o projeto, já que as diferentes disciplinas envolvidas deverão trabalhar em conjunto desde o início do modelo. Dessa maneira, um projeto de engenharia gerado por sistema BIM engloba desde a concepção até a execução do projeto, podendo incluir ainda o gerenciamento do empreendimento se assim se desejar. É importante salientar, portanto, que se trata de mudança sistemática, e não apenas técnica (EASTMAN et. al., 2008).

Diversos são os benefícios da implantação de tecnologia de modelagem paramétrica, porém se ressalta a possibilidade de diferentes profissionais poderem importar modelos de outras áreas em suas análises e fornecer dados. Para que isso ocorra de maneira satisfatória os arquivos de entrada e saída de dados dos programas precisam ser compatíveis, de forma que a informação não seja perdida na transferência, uma vez que os programas utilizados em cada área são diferentes e, muitas vezes, provém de empresas concorrentes (JACOSKI e LAMBERTS, 2003).

A fim de garantir a interação entre as diversas áreas de um projeto, o sistema BIM necessita interoperabilidade e colaboração entre os profissionais envolvidos. Com boa interoperabilidade não são necessárias várias réplicas de dados de entrada e facilita-se o fluxo de trabalho entre aplicativos (ANDRADE, 2009).

O conjunto de informações do projeto deve ser facilmente acessado e editável, de forma que as informações não fiquem espalhadas nos modelos. Assim, para que vários profissionais possam trabalhar com esses dados, é necessário que estejam padronizados. Para garantir padrão adequado nas informações, elas são vinculadas à natureza do objeto e à sua finalidade, tendo em vista o ciclo de vida do produto (EASTMAN et. al., 2008).

No que se refere a projetos de infraestrutura, estes envolvem grande quantidade de partes interessadas com diferentes requisitos e níveis de

conhecimentos técnicos. Por esse motivo, o uso de BIM facilita a troca de informações e o entendimento do projeto, com um modelo central de informações que permite aos interessados se manter informados e conectados com as versões atuais do projeto, sem informações errôneas ou redundantes (GRANADEIRO, 2016).

Este processo permite a geração de um projeto cuja necessidade de correções durante a execução é menor em comparação com o processo tradicional, reduzindo custos imprevistos e assegurando o cumprimento de prazos. O uso de BIM durante a fase de projetos permite que sejam definidas as técnicas e materiais que serão empregados, bem como custos e cronograma de execução, possibilitando a realização de análises de qualidade e viabilidade (RADÜNS e CHAMBERLAIN, 2013).

O uso de sistemas integrados vem crescendo na área de infraestrutura, conforme publicado pela *American Society of Civil Engineers* (ASCE) (2012). No ano de 2012, na América do Norte, 46% das empresas de projeto de infraestrutura afirmaram utilizar BIM em algum nível, com aumento de 19% em relação ao ano de 2010. Dentre as empresas que não utilizam BIM em seus projetos, 79% demonstraram interesse em adotar o sistema. Quanto ao retorno de investimentos, 67 % das empresas de projetos de infraestrutura que relataram utilizar BIM notaram melhorias de custo-benefício. Esse número ultrapassa os retornos encontrados por empresas de projetos de construção civil, das quais 63% registraram retorno positivo de investimentos com uso de BIM (ASCE, 2012).

Especificamente para o caso de projetos rodoviários, o estudo realizado pelo Departamento de Estradas do Estado de Wisconsin, nos Estados Unidos, encontrou bons resultados com a implantação de sistemas BIM. Com o uso de um sistema de modelagem de informações, os custos de estruturas auxiliares ao projeto estudado foram reduzidos em mais de 30%. O mesmo estudo demonstrou redução de um quarto dos custos de drenagem, devido à detecção de interferências no projeto e diminuição de incompatibilidades (ASCE, 2012).

Dentre os benefícios obtidos pelo uso de BIM, os mais citados pelos usuários do setor de infraestrutura são a diminuição de interferências e conflitos de projeto, com 58% das empresas alegando bons resultados e, a melhoria da qualidade de projeto, com 48% das companhias afirmando terem obtido ganhos com o uso do sistema. Sessenta por cento das empresas relataram ainda conseguir realizar estimativas de ganhos mais acuradas e diminuir os riscos de projeto, dentro

dos primeiros cinco anos de uso de BIM. Os benefícios administrativos do uso de BIM também são significativos. Granadeiro em 2016 ressaltou que as melhorias conseguidas pela integração do modelo tridimensional com um cronograma do empreendimento e fluxo financeiro podem ser especialmente significativas no caso de projetos de infraestrutura rodoviária. A integração proporciona transparência às licitações agilizando processos e reduzindo o grau de incertezas, permitindo simulações acuradas (GRANADEIRO, 2016).

Em um modelo de dados integrado, as decisões são tomadas com maior quantidade de informações consideradas e com a possibilidade de geração de simulações para quase a totalidade dos aspectos envolvidos na análise (AUTODESK, 2012).

O uso de BIM para projetos rodoviários nas fases de planejamento, execução e manutenção possibilita que sejam criadas, gerenciadas e mantidas as informações críticas pertencentes ao planejamento da obra tais como, informações geoespaciais, representações gráficas das vias de transporte, ou recursos necessários ao projeto (BENTLEY, 2016). A utilização adequada de sistemas BIM auxilia a obtenção de um projeto mais eficaz com relação ao custo-benefício das soluções encontradas e aumenta a eficiência da comunicação entre as partes interessadas (CHONG et. al., 2016).

2.4 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

Tecnologia utilizada para auxílio à criação de projetos na área de infraestrutura, especialmente com relação a transportes, são os Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Burrough (1986) definiu SIG como um conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real. Esses sistemas realizam o tratamento computacional de dados geográficos através de sua localização espacial e com base em suas características alfanuméricas, de modo que o administrador tem acesso a todas as informações disponíveis com sua localização na superfície terrestre representada em projeção cartográfica (DAVIS e NETO, 2001).

SIG é, portanto, um sistema de informações capaz de realizar análises espaciais e operar dados georreferenciados para manipulação, armazenamento e atualização. Um sistema de informações georreferenciadas completo necessita de

uma base de dados geográficos com programas capazes de gerenciar os dados físicos, profissionais capacitados para operar esses sistemas, *hardware* e organização (FERREIRA, 2006).

No planejamento de transportes, o uso de SIG permite que grandes quantidades de dados sejam administradas proporcionando melhor análise contextual dos projetos de modo a atender as necessidades de deslocamento e mobilidade resultantes da versatilidade do sistema rodoviário (FERREIRA e FARIA, 2012).

Os dados geográficos podem ser representados de duas formas: a matricial e a vetorial. Os dados matriciais, também conhecidos como *raster*, utilizam a organização celular para armazenar os dados, visto que cada organização é "caracterizada por uma matriz de células de tamanhos regulares, onde cada célula é associada ao conjunto de valores representando as características geográficas da região correspondente" (BOTELHO, 1995, p. 231). Este tipo de representação pode ser armazenado em formatos como JPEG, TIFF, MDT (modelo digital do terreno) e MDE (modelo digital de elevação).

No que se refere aos dados vetoriais, estes podem ser definidos como elementos de dados que permitem descrever posição e direção através de feições representadas por linha, ponto e polígono (BORGES, 2002), podendo ser armazenados em formato como *Shapefile* (SHP) e *Drawing* (DWG). O ponto é um par ordenado (x, y) de coordenadas espaciais, que é utilizado para identificar localizações ou ocorrências no espaço como, por exemplo, a localização de uma cidade. As linhas são definidas por um conjunto de pontos conectados, e são utilizadas para guardar feições unidimensionais, como por exemplo, rodovias e cursos hídricos. Por fim, polígonos são definidos por uma região do plano limitada por uma ou mais linhas poligonais conectadas de tal forma que o último ponto de uma linha seja idêntico ao primeiro da próxima, sendo um exemplo a delimitação da área de uma cidade (FERREIRA, 2006).

De maneira geral, existem duas formas de organização do SIG, sendo a primeira delas baseada em um banco de dados geográficos e a outra baseada em projetos. A organização baseada em banco de dados utiliza o conceito de entidades atribuídas com dados não-espaciais e representações geométricas associadas de maneira similar ao que ocorre em um sistema BIM (CÂMARA et. al., 2016).

As tecnologias BIM e SIG possuem como similaridade o fato de trabalharem com base em banco de dados integrados ao projeto, e embora tenham como foco resultados distintos, a união das duas tecnologias pode trazer facilidades durante o curso de um projeto de infraestrutura (FERREIRA e FARIA, 2012).

Em projetos de infraestrutura de transportes, uma avaliação coerente dos impactos causados, tanto pela construção de um empreendimento quanto ao longo de seu ciclo de vida, requer diversos instrumentos, desde a coleta de dados e planos regulatórios até ações de recuperação do meio ambiente e monitoramento de indicadores da qualidade. Neste processo, a análise de dados deve ser realizada de maneira integrada para simular o meio real, podendo-se beneficiar da utilização de programas de modelagem de informação para melhoria da acurácia processual. Em conjunto, o georreferenciamento de informações propicia dados do meio em que do projeto se insere, com a confiabilidade e versatilidade necessária à avaliação dos impactos provenientes da intervenção realizada.

2.5 ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIOS - MÉTODOS DE APOIO À DECISÃO (MCDA)

Os Métodos de Apoio à Decisão, ou *Multi Criteria Decision Analisys* (MCDA), refere-se à representação um processo decisório que auxilia uma tomada de decisão. O MCDA é um conjunto de métodos e abordagens (quantitativa e qualitativa) que busca ordenar os vários critérios explícitos, os quais possuem, cada um, certa importância relativa distinta, sendo, portanto, atribuídos pesos diferentes (BALTUSSEN e NIESSEN, 2006; BELTON e STEWART, 2002; DEVLIN e SUSSEX, 2011). O MCDA permite abordar problemas complexos e gerenciá-los, dividindo o problema em critérios menores, facilitando a avaliação e o debate, e identificando mais facilmente as concordâncias e discordâncias (DODGSON et. al., 2009).

MCDA permite abordagem transparente e estruturada, que facilita a reprodutibilidade da tomada de decisão e deixa clara a importância relativa de diferentes critérios (DEVLIN e SUSSEX, 2011; THOKALA e DUENAS, 2012). Outra característica importante desse tipo de análise é a de evitar a redundância dos termos, no qual os critérios devem ser cuidadosamente identificados para que não haja dupla contagem (DIABY e GOEREE, 2014). Além deste fato, uma análise multicritérios deve ser abrangente de forma a garantir que todos os aspectos

importantes serão considerados na tomada de decisão, principalmente quando diferentes interessados fazem o julgamento.

2.5.1 Método de Análise Hierárquica (AHP)

O método multicritério de apoio à decisão (MCDA) empregado foi o Método de Análise Hierárquica - AHP (*Analytic Hierarchy Process*), trata de um método criado especificamente para resolução de problemas com múltiplos critérios (SAATY, 2008).

O processo se baseia em três princípios do pensamento analítico: construção de hierarquias – o tema é dividido em níveis de hierarquia para que possa ser avaliado, definição de prioridades – consiste em fazer uma análise da interação entre a situação tratada e os elementos envolvidos, consistência lógica – qualificar a consistência do modelo (COSTA, 2002).

O AHP decompõe o problema em fatores, que podem ser divididos em novos fatores de maneira sucessiva de modo a simplificar o problema até atingir o nível mensurável. Esta metodologia se estabelece a partir da construção de hierarquias; definição de prioridades; e consistência lógica. Em relação ao conjunto de elementos que estão contidos num universo de uma variável analisada, foram determinados pesos para cada elemento. Assim, a aplicação de índices de intensidade relativa resultou em uma matriz de critérios aplicada na avaliação comparativa.

De acordo com Saaty (2008), para tomar uma decisão de forma organizada visando gerar prioridades é necessária a decomposição do processo de decisão em passos, a saber:

1. Definir o problema e determinar o tipo de conhecimento necessário;
2. Estruturar a hierarquia de decisão do topo com o objetivo da decisão, então os objetivos de uma perspectiva ampla, passando pelos níveis intermediários (critérios dos quais dependem os elementos seguintes) para o nível mais baixo (usualmente um conjunto de várias alternativas);
3. Construir um conjunto de matrizes de comparação. Cada elemento em nível mais alto é usado para comparar elementos no nível imediatamente abaixo;
4. Usar as prioridades obtidas das comparações para ponderar as prioridades no nível abaixo. Dessa forma, para cada elemento no nível

inferior adiciona o seu peso e obtém-se a prioridade global. Continuando-se a ponderação, as prioridades das alternativas dos níveis abaixo são obtidas.

A atribuição dos graus de importância deve obedecer aos critérios propostos por Saaty (2008) e são descritos no QUADRO 10.

QUADRO 10 - DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS AHP

Intensidade de Importância	**Definição**
1	Mesma importância
3	Importância pequena de uma sobre a outra
5	Importância grande ou essencial
7	Importância muito grande ou demonstrada
9	Importância absoluta
2, 4, 6, 8	Valores intermediários
Recíprocos dos valores acima de zero	Se a atividade i recebe uma intensidade acima de zero, quando comparada com a atividade j este terá o valor recíproco em comparação com i.
Racionais	Razões resultantes da escala

FONTE: Adaptado de Saaty (2008)

Dentro da metodologia AHP, os vetores de priorização são fixados visando a mais adequada ponderação dos pesos dos itens. É então gerada a matriz que apresenta resultado hierárquico comparativo das alternativas estudadas e cada alternativa recebe um peso de acordo com os parâmetros fixados (SAATY, 2008).

2.5.2 Método de Monte Carlo

A simulação Monte Carlo é uma técnica de amostragem estatística que utiliza funções de densidade de distribuição de probabilidade. O método efetua análise de risco por meio da construção de possíveis resultados com fatores de incerteza, distribuindo valores aleatórios em cada iteração (RUBINSTEIN e KROESE, 2016).

O método Monte Carlo está relacionado com a geração de observações de distribuição de probabilidades e o uso da amostra obtida para aproximar a função de interesse.

Utilizado para análise de riscos em tomadas de decisões, ou ainda para apresentar a confiabilidade de determinadas análises (CAMARGO, 2019).

A simulação pode representar os casos possíveis, de um modelo à medida que se apoia na análise estocástica que possibilita produzir diversas hipóteses para avaliar as variáveis e os valores conforme as distribuições de probabilidade, o que torna sua utilização significativa, pois se pode gerar um cenário real da situação em questão.

Com o processo simulado e verificado sua validade, as decisões podem ser tomadas de maneira mais precisa, evitando impactos que podem ser graves e onerosos (RUBINSTEIN e KROESE, 2016).

No gerenciamento de projetos são feitas suposições relativas ao tempo e o custo para executar um serviço, quais os riscos ou benefícios para as pessoas envolvidas, de modo que para fazer uma previsão é necessário que se levante dados ou busque experiências anteriores.

Dessa forma, após o levantamento de dados inicia-se o processo que tem sua eficiência relacionada com a identificação das variáveis de risco e dos limites de intervalo das variáveis de projeto, determinação de pesos para as variáveis, relação entre elas, realização da simulação e por último, a análise estatística dos resultados (ARNOLD e YILDIZ, 2015).

2.5.3 Ferramenta ElectioVIS

ElectioVIS é um *software* de código livre, destinado a promover auxílio à decisão por meio da aplicação de métodos com múltiplas variáveis. De acordo com o problema estudado, o código busca o método mais adequado a ser empregado (KUMAR, et. al., 2017).

O *software* comporta análises com pesos estabelecidos pelo usuário ou simulações estocásticas, pelo método Monte Carlo.

A simulação Monte Carlo adotada pelo *software* é destinada a promover uma análise de sensibilidade dos pesos escolhidos pelo usuário em sua análise multicritério (LOPEZ, 2015).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para elaboração desta dissertação, executou-se um Estudo de Caso de Avaliação de Impacto Ambiental vinculado a um Estudo Locacional para determinação da alternativa de traçado, com menor impacto ambiental para subtrecho rodoviário.

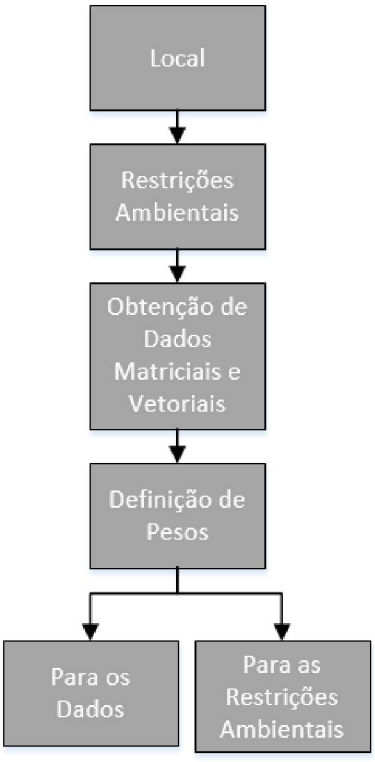
A metodologia empregada consistiu em três etapas, a saber:

- Etapa I – Definições e dados do segmento
- Etapa II – Geração de alternativas de traçado
- Etapa III – Comparação de alternativas e tecnologias
- Etapa IV – Avaliação de impactos ambientais

3.1 ETAPA I

A etapa I consistiu na definição de dados necessários à geração de alternativas de traçado pelos fluxos de trabalho empregados, tal como apresentado no fluxograma da FIGURA 5 .

FIGURA 5 - FLUXO DE TRABALHO DA ETAPA I



Fonte: A Autora (2020)

3.1.1 Local de estudo

O subtrecho utilizado como Estudo de Caso nesta dissertação é parte da rodovia federal denominada BR 135/BA entre os km 207 a 212, localizado no estado da Bahia, município de São Desidério.

A BR-135 é uma rodovia longitudinal pertencente ao Plano Rodoviário Federal de 1973, com extensão total de 2.446,00 km, iniciando em São Luiz do Maranhão e terminando no entroncamento com a BR-040 em Minas Gerais. O subtrecho estudado se localiza entre os quilômetros 207 e 212. A FIGURA 6 apresenta o subtrecho do estudo de caso, em São Desidério.

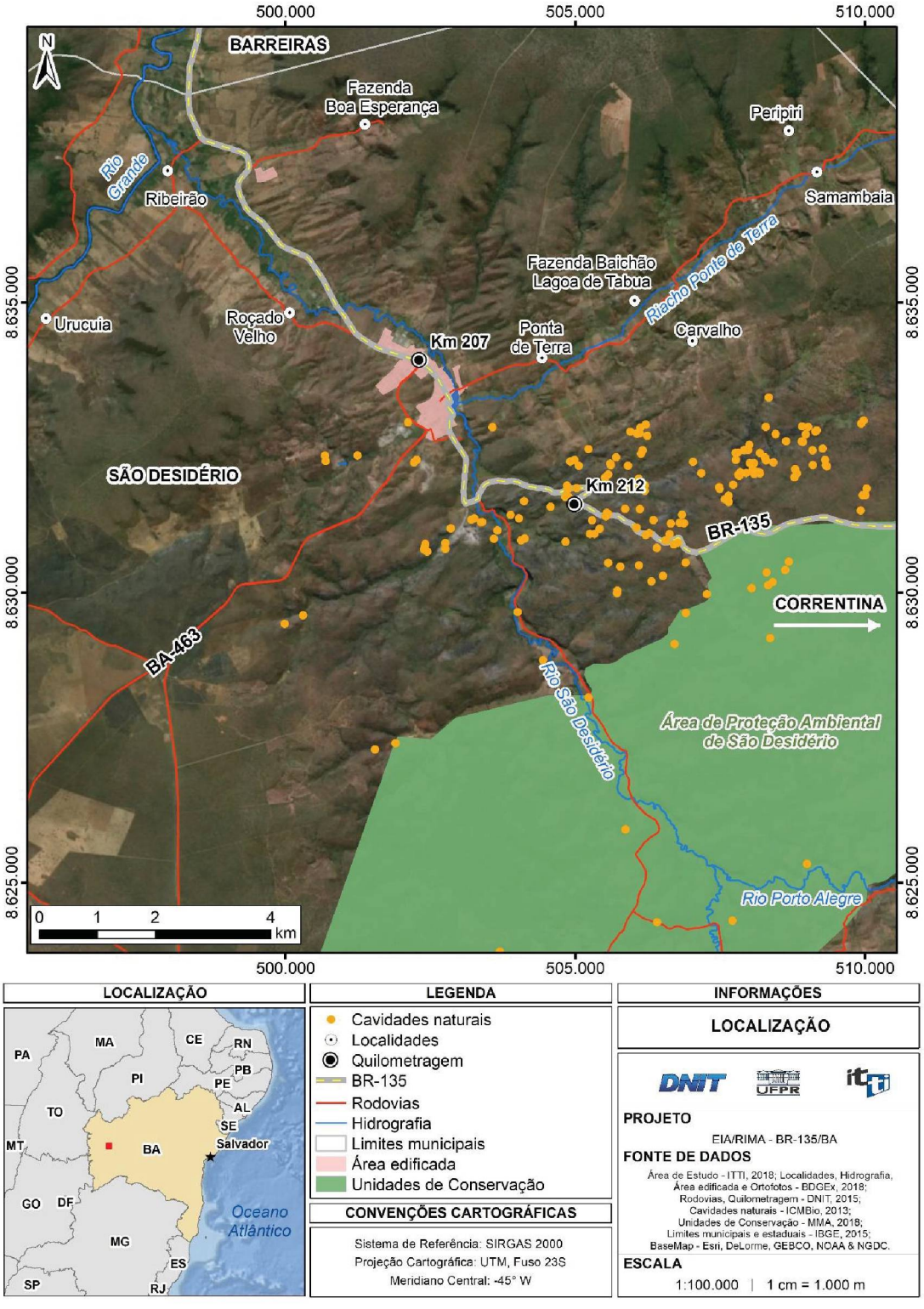
FIGURA 6 - LOCALIZAÇÃO DA BR-135/BA



Fonte: UFPR/ITTI, 2019.

A área é de formação cárstica com alto potencial espeleológico. A FIGURA 7 ilustra ainda em detalhes, o local de implantação do segmento entre os km 207 (FIGURA 8) e km 212 (FIGURA 9).

FIGURA 7 - ÁREA DE ESTUDO DAS ALTERNATIVAS LOCACIONAIS



Fonte: UFPR/ITTI, 2019.

FIGURA 8 - LOCAL DE INÍCIO DO SEGMENTO



Fonte: A Autora (2020).

FIGURA 9 - LOCAL FINAL DO SEGMENTO



Fonte: A Autora (2020).

3.1.2 Critérios de restrições socioambientais

Para o segmento em estudo foi emitido pelo IBAMA o Termo de Referência em 2018 com objetivo de subsidiar a avaliação da viabilidade ambiental do projeto de implantação da Rodovia BR-135/BA - Trecho entre os quilômetros 207 ao 212. Este Termo de Referência apresenta critérios de restrições socioambientais que devem ser avaliadas no citado segmento. No ANEXO I estão os critérios definidos pelo IBAMA para o trecho.

3.1.3 Dados geográficos

Nesta etapa procedeu-se a obtenção de dados vetoriais, matriciais, estatísticos e sociais sobre os critérios a serem englobados nas análises. As fontes dos dados matriciais e vetoriais empregadas neste estudo foram obtidas através dos seguintes órgãos oficiais competentes:

- Limites municipais, estaduais e localidades - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) – 2015;
- Rodovias federais e estaduais – Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT) – 2015;
- Hidrografia – Agência Nacional das Águas (ANA) – 2010, 2013, 2018;
- Pedologia nos casos mais abrangentes – Serviço Geológico do Brasil (CPRM) – 2015;
- Pedologia– RADAMBRASIL – 1982;
- Unidades de Conservação - *World Wide Fund for Nature* (WWF Brasil) – 2019;
- Unidades de Conservação - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) – 2018;
- Uso do solo WWF Brasil – 2015,2018;
- Dados climáticos - Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) – 2018;
- Corredores Ecológicos – Ministério Meio Ambiente (MMA) – 2003;
- Dados do Instituto Tecnológico de Transportes e Infraestrutura da UFPR (ITTI/UFPR) – 2015, 2016, 2017, 2018 e 2019.

- Base de Dados Geográficos do Exército Brasileiro (BDGEx), da Diretoria de Serviços Geográficos (DSG), com acesso nível 4.
- Imagens de satélites *Digital Globe* e *WorldView-3*, disponibilizadas no *software Google Earth* e no provedor de imagens Bing.

A fim de obter os resultados para esta dissertação foram utilizados dados do Banco de Dados Geográficos do Exército Brasileiro (BDGEx), que é o sistema computacional responsável pelo acesso centralizado às bases de dados geoespaciais distribuídas, produzidas ou adquiridas pela Diretoria de Serviço Gráfico (DSG), responsável pelo mapeamento sistemático brasileiro. A precisão dos dados atende a escala 1:25.000, enquadrada no Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), classe A, seguindo as diretrizes e análises propostas no Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, que estabelece as instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional.

O critério da área total de supressão de vegetação nativa foi considerado, a partir de imagem de satélite para conferência da vegetação, em conjunto com os *offsets* de terraplenagem de cada alternativa.

A interferência sobre vegetação nativa foi observada segundo os conceitos de Ecologia de Paisagens (IBAMA, 2018). Os conceitos foram aplicados sobre as alternativas já elaboradas, haja vista que para determinação de tamanho e forma de fragmentos e áreas núcleo, conectividade e parâmetros afins se faz necessário à existência de uma diretriz previamente elencada para realização de tais análises.

A avaliação da interferência sobre corredores ecológicos foi considerada a partir do cadastro do Ministério do Meio Ambiente de corredores existentes no País (BRASIL, 2019).

O critério da área interceptada de Unidades de Conservação e zonas de amortecimento foi observado de acordo com os critérios do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, portanto a Unidade de Conservação existente na região é a Área de Proteção Ambiental (APA) Estadual de São Desidério. Sendo uma APA, não se estabeleceu zona de amortecimento, segundo o artigo 25 da Lei nº 9985/2000. As alternativas criadas não interceptam a APA de São Desidério ou outra Unidade de Conservação.

A menor interceptação de Áreas Prioritárias de Conservação da Biodiversidade foi um parâmetro considerado neste estudo, levando em

consideração a extensão final de cada traçado, visto que toda a área analisada se encontra sob esta definição (MMA BRASIL, 2019).

As Áreas de Preservação Permanente (APPs) existentes na área de estudo foram de declividade e áreas de margens de rios e nascentes que devem ser protegidas. A área de interceptação das APPs referentes a corpos hídricos foi calculada para cada alternativa a partir da rede de drenagem de sub-bacia da bacia do rio Grande, considerando a largura de 30 metros para cada lado de margem, para os cursos d'água com até 10 metros, e 50 metros de raio de cada nascente, em acordo com a regulamentação nacional (ANA, 2018).

Com base nos mesmos dados de hidrografia, foram consideradas as transposições de cursos hídricos. Utilizou-se dados georreferenciados de talvegues e redes de drenagem conferidos da base de dados do BDGEx, para confirmação das imagens de satélite, devido a sazonalidade experimentada pelos cursos d'água na região.

As áreas de várzeas e baixadas, com potencial ocorrência de solos hidromórficos, foram consideradas a partir de mapeamento geomorfológico e pedológico, em conjunto com levantamento do BDGEx na região.

A extensão dos traçados também foi utilizada para comparação das alternativas. O volume de material movimentado de terraplenagem foi estimado a partir de curvas de nível em escala 1:25.000 da BDGEx (2014), sobrepostas com mapas de geomorfologia e pedologia da região.

As alternativas foram detalhadas no *software* AutoCAD CIVIL 3D, com criação de corredores a partir do alinhamento e plataforma de pavimentação, dos quais se extraem os valores de movimentação de terra, realizando-se a comparação da superfície do corredor com a superfície criada do terreno. Os volumes utilizados para comparação das alternativas referem-se ao volume total, considerando os bordos da plataforma de pavimentação até os offsets de corte e aterro.

A extensão de aterros foi considerada a partir da comparação do terreno com dados da BDGEx com o perfil vertical de cada alinhamento.

As Obras de Arte Especiais das alternativas elaboradas são pontes, não havendo previsão da utilização de túneis ou viadutos. A extensão das pontes projetadas foi baseada no regime hídrico de cada corpo d'água, sendo necessária a realização de pré-dimensionamento para definição exata. Dessa forma, a extensão

total de pontes de cada alternativa considera a estimativa realizada com base nos dados do BDGEx.

A interferência em áreas cársticas, ou com ocorrência de cavidades naturais, foi considerada em relação à proximidade das cavidades cadastradas no CECAV e pela extensão do traçado por se tratar de área de alto potencial espeleológico.

A extensão de interceptação de áreas urbanas foi considerada a partir de dados de imagens de satélite conferidos com dados da BDGEx, além do perímetro urbano de São Desidério apresentado na Lei Orgânica do município (2005).

O quantitativo de realocação de população foi estimado a partir da estimativa de desapropriações, considerando a média de 4 indivíduos por habitação residencial unifamiliar, estipulada a partir de dados regionais do IBGE.

A interferência no patrimônio artístico e cultural foi englobada nas análises a partir da localização geoespacial dos registros, com raio de 250 metros de cada patrimônio cadastrado no Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN, 2019).

As áreas de comunidades tradicionais, terras indígenas, comunidades quilombolas e projetos de assentamentos foram mapeados com base em dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) (IBGE, 2019; INCRA, 2019).

O custo financeiro das obras foi estimado a partir da estimativa de custos de terraplenagem, pavimentação, desapropriação e Obras de Arte Especiais (OAEs).

O orçamento da terraplenagem e pavimentação foi realizado pela metodologia de determinação dos custos unitários dos serviços a executar, contida no Sistema de Custos e Referencial de Obras (SICRO) 3 e Manual de Custos Rodoviários do DNIT.

As composições de custos do estado da Bahia foram realizadas, através do Sistema de Custos Referenciais de Obras, pelo mês base de janeiro de 2019. Os custos diretos de execução dos serviços foram calculados a partir de fórmulas dos custos unitário de transporte; produção das equipes mecânicas; custos unitários de utilização de equipamentos, mão de obra e materiais; reaproveitamento de formas e consumo de materiais dos concretos e argamassas.

A aquisição do material betuminoso foi calculada considerando a Portaria nº 349, de 06/03/2010 e os preços de acompanhamentos regionais informados pela Agência Nacional de Petróleo (ANP), estabelecendo-se uma aquisição do Concreto

Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), vindo de Salvador. Para o transporte do material betuminoso foi obedecida a Instrução de Serviço nº 02 de janeiro de 2011 e as equações tarifárias para transporte no mês base de janeiro de 2019.

O cálculo dos valores de desapropriações foi estimado pelo valor base de terras sem benfeitorias de R$ 10.000,00 por hectare, e o valor base por edificação construída em área urbana de R$ 1.600,00 por m², obtidos a partir de consultas imobiliárias na região (dados de consulta imobiliária realizada em março de 2019).

Por outro lado, o valor de OAEs utilizado foi de R$ 3.500,00 por m² de tabuleiro.

3.1.4 Pesos para os critérios socioambientais

Os pesos foram definidos para aplicação nos algoritmos de otimização dos programas utilizados das tecnologias BIM e SIG, e para a análise multicritério.

A partir de sua prioridade de conservação de cada critério atribuíram-se pesos relativos, ou seja, áreas mais sensíveis foram consideradas com pesos mais altos, conforme apresentado adiante.

A proteção de características que não podem ser mitigadas por obras de engenharia e alternativas tecnológicas, ou que resultem em altos custos, recebeu a consideração de maior importância.

3.2 ETAPA II

A etapa II se refere ao projeto das alternativas em si, onde são empregadas as tecnologias de modelagem de informação e sistemas de informação geográfica como subsídio à determinação do projeto mais viável para os dados específicos coletados na etapa I, considerando-se critérios pré-estabelecidos.

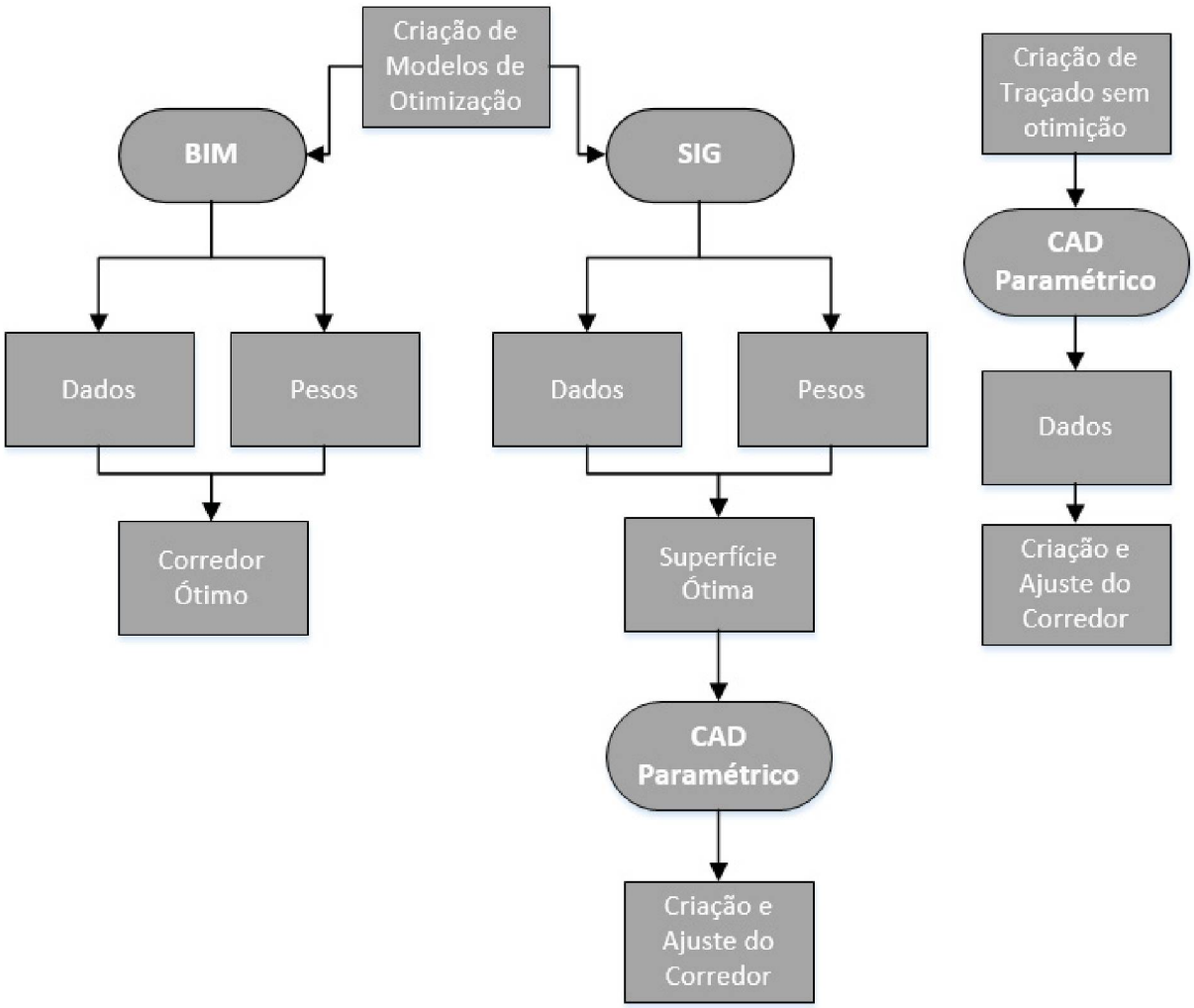
Três alternativas de traçado foram criadas empregando-se diferentes tecnologias, em busca de um fluxo de trabalho que permita a avaliação paramétrica dos dados relativos a cada critério analisado. Utilizou-se da alternativa criada em CAD como base comparativa às geradas com algoritmos de otimização.

A fim de facilitar o entendimento das análises realizadas convencionou-se denominar as metodologias empregadas como “SIG”, “BIM” e “CAD”, de modo a

representar a tecnologia aplicada em cada fluxo de trabalho para otimização da análise de impactos na geração do traçado locacional.

O fluxograma da FIGURA 10 apresenta as ferramentas utilizadas na concepção de projeto de cada uma das alternativas.

FIGURA 10 - FLUXO DE TRABALHO DA ETAPA II



Fonte: A Autora (2020)

3.2.1 Alternativa por Sistema de Informação Geográfica (SIG)

A alternativa em SIG foi determinada pela utilização do *software* ESRI ArcMAP, com geração de uma superfície otimizada de custos ambientais, a partir da atribuição de pesos para os critérios cujos dados são vetoriais ou matriciais (ferramenta *"cost-benefit analysis"*).

Uma vez formada a superfície, ela foi importada para um *software* de projeto geométrico paramétrico (AutoCAD CIVIL 3D).

No software paramétrico, considerou-se o caminho apresentado com melhor custo-benefício ambiental para criação do eixo da alternativa, ou seja, menor interceptação de áreas com critérios restritivos socioambientais.

3.2.2 Alternativa de emprego da Modelagem de Informações da Construção (BIM)

A Alternativa em BIM buscou a adequação de um corredor tridimensional ótimo, diretamente no software de modelagem de informação. O algoritmo de otimização de corredor age como se aplicasse o método de AIA de "superposição de cartas" em conjunto com o método de "redes de interação" por utilização de tecnologia computacional 3D paramétrica e pesos para as áreas de restrição.

No *software* BIM Infraworks 360 da Autodesk, as camadas de dados foram adicionadas mediante atribuição de pesos e parâmetros máximos, para otimização de traçado, custos e perfil vertical.

3.2.3 Alternativa não otimizada – em sistema CAD

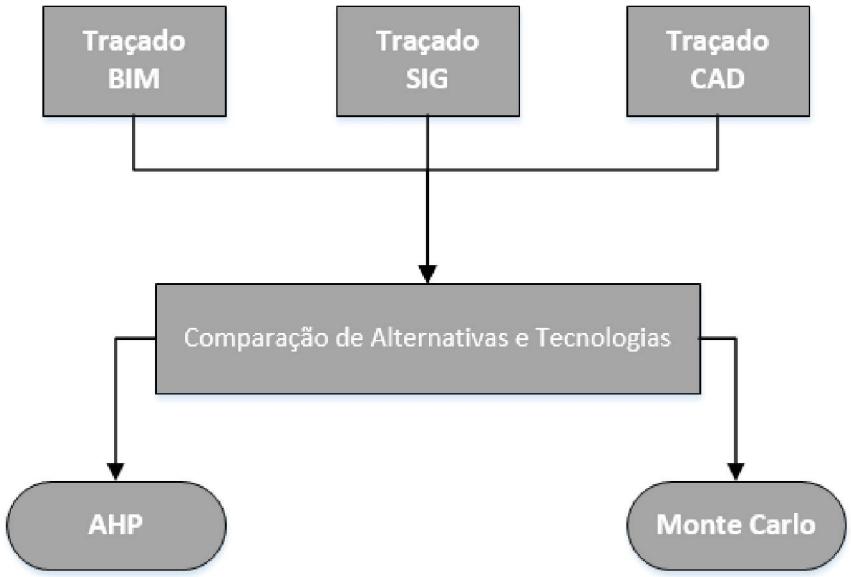
A Alternativa em CAD foi determinada pela utilização dos dados vetoriais e matriciais incorporados diretamente ao *software* de projeto geométrico. O *software* utilizado foi o AutoCAD CIVIL 3D, como se estivesse aplicando o método de AIA de "superposição de cartas" com a utilização de tecnologia computacional 2D paramétrica.

No *software,* as camadas de dados foram consideradas sem a atribuição e pesos, realizando-se uma análise visual e altimétrica para criação e um eixo com a menor interferência considerada pelo projetista operador do *software.*

3.3 ETAPA III

A etapa III consistiu na comparação e Avaliação de Impactos Ambientais das alternativas geradas, por meio de métodos de apoio à decisão de análise multicritério e simulação estatística. O fluxo de trabalho empregado se encontra apresentado na FIGURA 11.

FIGURA 11 - FLUXO DE TRABALHO DA ETAPA III



Fonte: A Autora (2020)

Os critérios empregados foram os descritos na Etapa I. Os pesos adotados foram ajustados a partir de uma pesquisa realizada pelo Método Delphi[3], baseando-se em Lisboa (2002) e Ramalho e Assigno (2017). O método multicritério de apoio à decisão (MCDA) empregado foi o Método de Análise Hierárquica - AHP (*Analytic Hierarchy Process*).

Para conferência dos pesos relativos adotados realizou-se uma simulação Monte Carlo, de modo que os pesos adotados na análise foram substituídos por valores aleatórios em cada interação para formação de uma distribuição de probabilidade da alternativa mais próxima dos pesos ótimos.

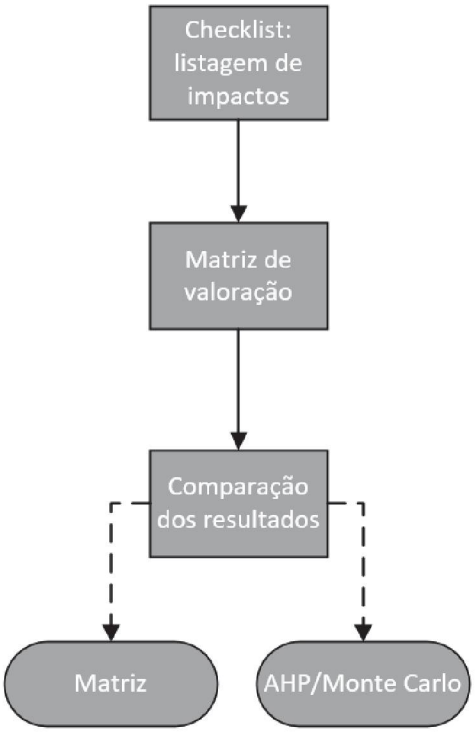
3.4 ETAPA IV

A etapa IV consistiu na aplicação de um método tradicional de AIA para verificação das alternativas geradas, e comparação com os resultados obtidos pelos

[3] O método Delphi é utilizado quando se necessita uma abordagem multidisciplinar e não há dados históricos ou padrões estabelecidos para determinada análise, em função do que se entrevistam diversos especialistas no assunto em questão de maneira estruturada, permitindo que um grupo de técnicos delibere com unidade sobre problemas complexos (ROZADOS, 2015).

métodos multicritérios aplicados na Etapa III. O fluxo de trabalho empregado se encontra apresentado na FIGURA 12.

FIGURA 12 - FLUXO DE TRABALHO DA ETAPA IV



Fonte: A Autora (2020)

A partir da listagem de impactos passíveis de ocorrência em obras rodoviárias listadas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes e antigo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (apresentada no item de Revisão da Literatura nos QUADROS 5, 6 e 7), foram identificados os impactos com possibilidade de ocorrência no subtrecho estudado. Além dos impactos de ocorrência usual em obras rodoviárias, investigou-se sobre a existência de impactos específicos para o segmento estudado, que não se encontrassem nas relações propostas pelo DNIT e DNER.

Uma vez listados os impactos por fase, a Avaliação dos Impactos Ambientais foi empregada por meio de metodologia qualitativa proposta especificamente para avaliação de empreendimentos rodoviários, elaborada pelo Instituto Tecnológico de Transportes e Infraestrutura da Universidade Federal do Paraná (UFPR-ITTI) em parceria com a Coordenação Geral de Meio Ambiente do Departamento Nacional de

Infraestrutura de Transportes (CGMAB-DNIT). Trata-se de um método de matriz de interação, a qual considera parâmetros de valoração oriundos do Decreto 6848/2009, que estabelece a significância dos impactos, associados à probabilidade de ocorrência de cada um deles, bem como gerando a valoração e classificação dos mesmos, de acordo com os seguintes critérios para cada atributo:

- Natureza: positivo, quando resultar em melhoria da qualidade ambiental e negativo, quando resultar em danos ou perturbação em algum componente ambiental;
- Temporalidade: refere-se à persistência dos impactos no meio ambiente, podendo ser: imediata até 05 anos após a instalação do empreendimento (valorado com a nota 01), curta que ocorre entre 05 e 15 anos (valorado com a nota 02), média de 15 a 30 anos (valorado com a nota 03), ou longa quando sua permanência excede aos 30 anos (valorado com a nota 04), conforme o Decreto 6848/2009;
- Reversibilidade: reversível, quando pode ser objeto de ações que restaurem o equilíbrio ambiental próximo ao pré-existente à intervenção (valorado com a nota 01), ou irreversível, quando a alteração causada ao meio não pode ser revertida por ações/intervenção (valorado com a nota 03);
- Magnitude: indica a intensidade do impacto em face de um determinado fator ambiental ou área de ocorrência, considerando os graus de intensidade, duração e importância do impacto, sendo classificada de modo qualitativo em pequena (valorado com a nota 01), média (valorado com a nota 02) e grande (valorado com a nota 03);
- Abrangência: em conformidade com o Decreto 6848/2009 deve ser avaliada a extensão espacial dos impactos sobre os recursos ambientais, limitados a uma microbacia (nota 01), ou que ultrapassam a área de uma microbacia mas limitados à área de uma bacia de 3ª ordem (nota 02), ou os que ultrapassam a área de uma bacia de 3ª ordem mas em área inferior a uma bacia de 1ª ordem (nota 03), ou aqueles que ultrapassam a área de uma bacia de 1ª ordem (nota 04). Entretanto, por se tratar de um estudo de caso com segmento de pequena extensão, a proporção espacial foi adequada ao contexto do estudo, assim, considerou-se os efeitos *limitados a uma*

microbacia – bacia de 5ª ordem – (nota 1), ou que *ultrapassam a área de uma microbacia mas limitados à área de uma bacia de 4ª ordem* (nota 2), ou os que *ultrapassam a área de uma bacia de 4ª ordem mas em área inferior a uma bacia de 3ª ordem* (nota 03), ou aqueles que *ultrapassam a área de uma bacia de 3ª ordem* (nota 4).;

- Probabilidade de Ocorrência: é a possibilidade de o evento ocorrer, podendo ser de baixa probabilidade (valorado com a nota 01), média probabilidade (valorado com a nota 02), alta probabilidade (valorado com a nota 03).

O método propõe ainda a seguinte escala de avaliação dos graus de impacto de uma atividade ou empreendimento:

Impacto = Significância x Probabilidade de Ocorrência

Onde a significância é calculada pela somatória dos valores dos parâmetros de temporalidade, reversibilidade, magnitude e abrangência, e o "Impacto" é o produto entre a probabilidade de ocorrência e a significância, conforme equação a seguir (PIMENTA *et al*, 2014).

Significância = temporalidade + reversibilidade + magnitude + abrangência

A partir desse cálculo, pode-se classificar os impactos como "fraco", "moderado" ou "forte", conforme escala de valores apresentada na

TABELA 1

TABELA 1 - ESCALA DE SIGNIFICÂNCIA DOS IMPACTOS DO MÉTODO CGMAB-UFPR

Grau de Impacto	**Escala numérica**
Fraco	4 a 14
Moderado	15 a 28
Forte	29 a 42

Fonte: Pimenta *et al*, 2014.

Os impactos valorados são apresentados em matrizes, para cada fase do empreendimento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados obtidos pelo trabalho, levando em consideração os objetivos previamente estabelecidos.

Os resultados estão descritos, comentados e discutidos, de acordo com as fases que foram anteriormente ilustrados no item Material e Métodos.

4.1 ETAPA I

A fase de estudos ambientais, embora seja anterior ao projeto, necessita de definições geométricas para concepção do projeto, no fluxo de trabalho adotado nessa dissertação. A definição de características técnicas básicas para elaboração do estudo de traçado fez-se importante de modo a permitir que a Avaliação de Impactos Ambientais para que se realizasse concomitantemente o estudo das alternativas locacionais. Desse modo, a seguir descrevem-se as características técnicas utilizadas para projeto geométrico dos corredores gerados.

4.1.1 Local de estudo

Características técnicas de geometria foram estabelecidas para o segmento em estudo. O trecho foi classificado como uma via arterial secundária de Classe II, pois possibilita o tráfego intermunicipal e serve cidades acima de 10.000 habitantes, alimentando o sistema arterial principal. As larguras adotadas para projeto foram 3,6 metros para pista de rolamento e 2,5 metros para o acostamento.

Os eixos estudados levaram em consideração a adoção de inclinações de talude de 1:1 em relação a cortes e de 1.5:1 para os aterros projetados, devidos às características da geomorfologia local, de relevo montanhoso.

A plataforma de pavimentação foi projetada com as larguras e inclinações supracitadas, com adição de 1 metro de cada lado do pavimento prevendo-se a instalação de dispositivos de drenagem superficial.

A Faixa de Domínio considerada engloba, a área das pistas de rolamento, obras de arte, acostamentos, sinalização e faixa lateral de segurança até o alinhamento das cercas que separam a estrada dos imóveis marginais à via ou da faixa de recuo, respeitando minimamente a faixa não edificável de 15 metros de

cada lado da rodovia prevista pela Lei Federal de Parcelamento de Solo nº 6.766 de 19 de dezembro de 1979. Dessa forma, considerou-se o valor de 60 metros para faixa de domínio devido à extensão dos *offsets* de terraplenagem, sendo 30 metros para cada lado do eixo.

A TABELA 2 apresenta as principais características geométricas adotadas para criação dos traçados.

TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SEGMENTO ESTUDADO

Velocidade diretriz	50 km/h
Raio mínimo de curva horizontal	80 m
Taxa de superelevação máxima	8%
Rampa máxima	7%
Valor K mínimo para curvas convexas	10
Valor K mínimo para curvas côncavas	12
Largura da faixa de trânsito	3,6 m
Largura do acostamento	2,5 m

Fonte: A Autora (2020).

4.1.2 Critérios de restrições socioambientais

Para a Avaliação de Impactos Ambientais das alternativas, fez-se necessária a consideração de restrições socioambientais, que serviram de base comparativa para definição do traçado de menor impacto. Esta fase remete ao método de AIA de *Checklist*, pois define os itens com possível impacto ambiental.

Por haver critérios previamente determinados pelo órgão ambiental para o segmento em estudo, optou-se por utilizar as restrições socioambientais definidas pelo IBAMA como os critérios de avaliação nos traçados gerados por este Estudo de Caso.

4.1.3 Dados geográficos

A Etapa I consistiu ainda na obtenção e tratamento dos dados vetoriais, matriciais, estatísticos e humanos sobre os critérios a serem considerados em projeto. Para cada critério considerado, seguem os dados geográficos obtidos e utilizados nas etapas de modelagem (TABELAS 3 e 4).

TABELA 3 - DADOS VETORIAIS

(continua)

DESCRIÇÃO	TIPO	GEOMETRIA	Nº FEIÇÕES	SIST. REFERÊNCIA	PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA	ZONA	FONTE
Shapefile referente ao açude do Riacho Ponte de Terra	SHP	Linha	8	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	BDGEx, 2014
Shapefile referente a afloramentos de calcário, crateras e subsidências verificadas em campo	SHP	Ponto	21	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2018
Shapefile referente aos afloramentos presentes no entorno da área da cavidade Buraco do Inferno	SHP	Ponto	7	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2019
Shapefile referente a massa d'água do Parque da Lagoa Azul	SHP	Polígono	1	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2020
Shapefile referente aos pontos de amostragem de fauna terrestre na área de estudo	SHP	Ponto	2	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2018
Shapefile referente as Áreas Prioritárias para a Conservação Biodiversidade presentes na área de estudo	SHP	Polígono	11	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	MMA, 2018
Shapefile referente as Áreas de Preservação Permanente	SHP	Polígono	4816	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2019
Shapefile referente as áreas de APP de declividade	SHP	Polígono	38	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2018
Shapefile referente as Áreas de Preservação Permanente para hidrografia permanente na escala um para vinte e cinco mil das alternativas locacionais	SHP	Polígono	7	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2019
Shapefile referente a área de APP de hidrografia	SHP	Polígono	1	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2018

Fonte: A Autora (2020).

TABELA 3 – DADOS VETORIAIS

(continuação)

DESCRIÇÃO	TIPO	GEOMETRIA	Nº FEIÇÕES	SIST. REFERÊNCIA	PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA	ZONA	FONTE
Shapefile referente a área de influência das cavidades (buffer de 250m das alternativas locacionais)	SHP	Polígono	4	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	Resolução CONAMA 347/2004
Shapefile referente a localização pontual do quilombo Mucambo	SHP	Polígono	1	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	INCRA, 2018
Shapefile referente a área de risco áreas de risco para compensação espeleológica	SHP	Polígono	1	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2020
Shapefile referente as áreas prioritárias	SHP	Polígono	2681	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	MMA, 2018
Shapefile referente as áreas de valor histórico e cultural da área de estudo do meio socioeconômico	SHP	Ponto	17	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2020, OSM, 2020
Shapefile referente as áreas de várzea da área de estudo	SHP	Polígono	26	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	BDGEx,2014, ITTI, 2019;
Shapefile referente as rodovias presentes no estado da BA	SHP	Linha	627	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	DNIT, 2015
Shapefile referente a geologia	SHP	Polígono	13	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	CPRM, 2010
Shapefile referente aos biomas brasileiros	SHP	Polígono	6	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	IBGE, 2016
Shapefile referente ao traçado do eixo da BR-135 implantada	SHP	Linha	34	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	DNIT, 2015
Shapefile referente ao traçado da BR-135 dentro dos estados da Bahia, Minas Gerais e Piauí	SHP	Linha	377	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	DNIT, 2015
Shapefile referente ao trecho da BR-135 dentro do estado da Bahia	SHP	Linha	46	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	DNIT, 2015
Shapefile referente ao caminhamento para inspeção de cavidades realizada em 2015	SHP	Linha	595	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2015

Fonte: A Autora (2020).

TABELA 3 – DADOS VETORIAIS

(continuação)

DESCRIÇÃO	TIPO	GEOMETRIA	Nº FEIÇÕES	SIST. REFERÊNCIA	PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA	ZONA	FONTE
Shapefile referente aos canais de irrigação presentes na área de estudo	SHP	Linha	1	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	CODEVASF, 2016
Shapefile referente aos sifões invertidos da área de estudo	SHP	Ponto	21	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	CODEVASF, 2016
Shapefile referente as cavidades prospectadas pelo ITTI em 2015 na área de estudo	SHP	Ponto	16	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2015
Shapefile referente as cavidades cadastradas no CANIE para o estado da BA	SHP	Ponto	1273	SIRGAS 2000	-	-	CANIE, 2018
Shapefile referente as cavidades prospectadas pelo SBE na área de estudo	SHP	Ponto	43	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	SBE, 2019
Shapefile referente as comunidades de fundo de pasto da área de estudo do meio **socioeconômico**	SHP	Ponto	7	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	BDGEx, 2014
Shapefile referente as comunidades **vulneráveis** na escala 1 para 50 mil da área de estudo	SHP	Polígono	5	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2020
Shapefile referente a área do Corredor Ecológico Central da Mata Atlântica	SHP	Polígono	1	SIRGAS 2000	-	-	MMA, 2009
Shapefile referente as áreas de corredor ecológico (mata ciliar)	SHP	Polígono	8	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2020
Shapefile referente as unidades habitacionais na escada 1 para 50mil da área de estudo	SHP	Ponto	4040	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2019
Shapefile referente as benfeitorias dentro das faixas de domínio das alternativas locacionais	SHP	Polígono	24	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2019
Shapefile referente aos domínios morfoestruturais geológicos da área de estudo (atributo: LEG_SUP)	SHP	Polígono	3706	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	IBGE, 2018
Shapefile referente as áreas industriais na área de estudo	SHP	Polígono	4	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	BDGEx, 2014
Shapefile referente as áreas de depósitos gerais na área de estudo	SHP	Polígono	49	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	BDGEx, 2014
Shapefile referente as áreas de edificação industrial na área de estudo	SHP	Polígono	39	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	BDGEx, 2014

Fonte: A Autora (2020).

TABELA 3 – DADOS VETORIAIS

(continuação)

DESCRIÇÃO	TIPO	GEOMETRIA	Nº FEIÇÕES	SIST. REFERÊNCIA	PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA	ZONA	FONTE
Shapefile referente as áreas de extração mineral na área de estudo	SHP	Polígono	26	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	BDGEx, 2014
Shapefile referente a Tubulação (PVC PBA DN 50) presente no local do traçado das alternativas locacionais	SHP	Linha	1	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2019
Shapefile referente as áreas de caixas de empréstimo e bota foras na área de estudo	SHP	Polígono	9	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2019
Shapefile referente a entrada das cavidades de relevância	SHP	Ponto	9	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2015, 2019;
Shapefile referente as áreas com ocorrências de processos erosivos na área de estudo	SHP	Polígono	50	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2019
Shapefile referente as estações fluviométricas presentes na área de estudo	SHP	Ponto	6	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ANA, 2010
Shapefile referente as estações metereológicas da área de estudo	SHP	Ponto	12	SIRGAS 2000	-	-	INMET, 2018
Shapefile referente as ferrovias localizadas na proximidade da área de estudo do meio socioeconômico	SHP	Linha	10	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ANTAQ, 2015
Shapefile referente as classes de fitofisionomia para o oeste da Bahia	SHP	Polígono	109	SIRGAS 2000	-	-	MMA, 2006
Shapefile referente as classes de fitofisionomia	SHP	Polígono	6	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	MMA, 2006
Shapefile referente as fitofisionomias de campo	SHP	Polígono	667	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	BDGEx, 2014
Shapefile referente as fitofisionomias de cerrado	SHP	Polígono	745	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	BDGEx, 2014
Shapefile referente as fitofisionomias de floresta	SHP	Polígono	5	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	BDGEx, 2014
Shapefile referente a hidrografia da área de estudo	SHP	Linha	1132	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ANA, 2010

Fonte: A Autora (2020).

TABELA 3 – DADOS VETORIAIS

(continuação)

DESCRIÇÃO	TIPO	GEOMETRIA	Nº FEIÇÕES	SIST. REFERÊNCIA	PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA	ZONA	FONTE
Shapefile referente as unidades geomorgológicas e aos domínios morfoestruturais da área de estudo	SHP	Polígono	2161	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	IBGE, 2018
Shapefile referente as unidades geomorgológicas da área de estudo do meio físico	SHP	Polígono	34	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	IBGE, 2018
Shapefile referente ao grau de relevância das cavidades da área de estudo	SHP	Ponto	13	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2020;
Shapefile referente as áreas de massa d'água na área de estudo	SHP	Polígono	26	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	BDGEx, 2014
Shapefile referente as áreas de terrenos sujeitos a inundação na área de estudo	SHP	Polígono	114	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	BDGEx, 2014
Shapefile referente aos trechos de drenagem constantes na área de estudo	SHP	Linha	9363	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	BDGEx, 2014
Shapefile referente a hidrografia da área de estudo	SHP	Linha	3224	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	IBGE, 2015
Shapefile referente aos trechos de massa d'água constantes na área de estudo	SHP	Polígono	82	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	BDGEX, 2014
Shafefile na hidrogeologia da área de estudo, representando os sistemas aquíferos da região	SHP	Polígono	672	SIRGAS 2000	-	-	IBGE, 2018
Shapefile referente a hidrografia recortada de cartas do BDGEx	SHP	Linha	1953	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	BDGEx, 2014
Shapefile referente a hidrografia	SHP	Linha	2049	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	BDGEx, 2014
Shapefile referente a hidrografia permanente dentro da APA de São Desidério	SHP	Linha	196	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	BDGEx, 2014
Shapefile referente a hidrografia da área de estudo da figura de Lineamentos, obtida através do ajustamento da base cartográfica do BDGEx para a escala da figura conforme o relevo sombreado da região	SHP	Linha	4233	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2019
Shapefile referente a hidrografia intermitente dentro da APA de São Desidério	SHP	Linha	502	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	BDGEx, 2014

Fonte: A Autora (2020).

TABELA 3 – DADOS VETORIAIS

(continuação)

DESCRIÇÃO	TIPO	GEOMETRIA	Nº FEIÇÕES	SIST. REFERÊNCIA	PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA	ZONA	FONTE
Shapefile referente a áreas de massa d'água em determinada porção da área de estudo	SHP	Polígono	4	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ANA, 2013
Shapefile referente aos imóveis do CAR no município de São Desidério	SHP	Polígono	5602	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	MMA, 2018
Shapefile referente a infraestrutura social de São Desidério	SHP	Ponto	32	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2020
Shapefile referente as quilometragens da área de estudo	SHP	Ponto	8	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	DNIT, 2015
Shapefile referente as quilometragens provisórias das interseções entre as alternativas locacionais com hidrografias e APP	SHP	Ponto	25	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2020
Shapefile referente a localização pontual do Parque Municipal da Lagoa Azul	SHP	Ponto	1	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2018
Shapefile referente as áreas de lavras e pesquisa mineral na área de estudo	SHP	Polígono	49	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	CPRM, 2018
Shapefile referente as áreas de lavras e pesquisa mineral no oeste da Bahia	SHP	Polígono	2444	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	CPRM, 2018
Shapefile referente aos limites internacionais da América do Sul	SHP	Polígono	16	SIRGAS 2000	-	-	IBGE, 2015
Shapefile referente aos limites estaduais do Brasil - Base cartográfica com escala de referência 1:250.000	SHP	Polígono	27	SIRGAS 2000	-	-	IBGE, 2015
Shapefile referente aos limites municipais da Bahia - Base cartográfica com escala de referência 1:250.000	SHP	Polígono	417	SIRGAS 2000	-	-	BDGEx, 2014
Shapefile referente ao lineamento geológico da região do entorno do buraco do inferno	SHP	Linha	633	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2019
Shapefile referente as regiões onde passam linhas de transmissão de alta tensão dentro das alternativas locacionais	SHP	Polígono	2	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2020
Shapefile referente as linhas de fluxo das áreas de recarga de aquíferos	SHP	Linha	37	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2020

Fonte: A Autora (2020).

TABELA 3 – DADOS VETORIAIS

(continuação)

DESCRIÇÃO	TIPO	GEOMETRIA	Nº FEIÇÕES	SIST. REFERÊNCIA	PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA	ZONA	FONTE
Shapefile referente as áreas edificadas constantes na área de estudo	SHP	Polígono	42	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	BDGEx, 2014
Shapefile referente as localidades da área de estudo	SHP	Ponto	58	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	BDGEx, 2014
Shapefile referente a localização das nascentes cadastradas na Prefeitura de São Desidério	SHP	Ponto	24	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	Prefeitura de São Desidério, 2018
Shapefile referente a localização dos olhos d'água na área de estudo	SHP	Ponto	12	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	BDGEx, 2014
Shapefile referente as ottobacias nível 3 no oeste da Bahia	SHP	Polígono	1	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ANA, 2013
Shapefile referente as ottobacias nível 4 no oeste da Bahia	SHP	Polígono	1	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ANA, 2013
Shapefile referente as ottobacias nível 5 no oeste da Bahia	SHP	Polígono	1	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ANA, 2013
Shapefile referente a localização das outorgas de recursos hídricos na área de estudo	SHP	Ponto	1854	SIRGAS 2000	-	-	INEMA, 2014
Shapefile referente ao limite do Parque Municipal da Lagoa Azul	SHP	Polígono	1	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	Adaptado do Decreto municipal de São Desidério n°07/2005
Shapefile referente aos corpos da água dentro das classes de pedologia da área de estudo	SHP	Polígono	2	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	IBGE, 2015
Shapefile referente a pedologia área de estudo do meio físico e biótico com o índice de erodibilidade	SHP	Polígono	28	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	IBGE, 2015
Shapefile referente as classes de solos na área de estudo	SHP	Polígono	30	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	IBGE, 2015

Fonte: A Autora (2020).

TABELA 3 – DADOS VETORIAIS

(continuação)

DESCRIÇÃO	TIPO	GEOMETRIA	Nº FEIÇÕES	SIST. REFERÊNCIA	PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA	ZONA	FONTE
Shapefile referente as pedreiras de São Desidério-BA na área de estudo	SHP	Polígono	3	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2019
Shapefile referente a localização do Perfil GPR levantado para a área de estudo	SHP	Linha	17	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2015
Shapefile referente ao perímetro urbano de Barreiras-BA	SHP	Polígono	1	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	Perímetro urbano de Barreiras - Lei municipal orgânica n°1039, 2013
Shapefile referente a área urbanizada de Catolândia-BA	SHP	Polígono	1	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2020
Shapefile referente ao perímetro urbano de São Desidério	SHP	Polígono	1	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	Lei Perímetro Urbano de São Desidério, 2006;
Shapefile referente a plataforma do traçado atual da BR-135	SHP	Polígono	3	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2020
Shapefile referente a localização da ponte do Rio Corrente	SHP	Ponto	1	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2019
Shapefile referente aos pontos turísticos próximos as alternativas locacionais	SHP	Ponto	5	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	CANIE, 2018,
Shapefile referente as possíveis cavidades detectadas por GPR na área de estudo	SHP	Ponto	70	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2015
Shapefile referente as classes de potencialidade espeleológica da área de estudo	SHP	Polígono	3	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2020
Shapefile referente a projeção horizontal das cavidades de relevância	SHP	Polígono	9	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2020
Shapefile referente a localização das prováveis nascentes na área de estudo	SHP	Ponto	60	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	BDGEx, 2014

Fonte: A Autora (2020).

TABELA 3 – DADOS VETORIAIS

(continuação)

DESCRIÇÃO	TIPO	GEOMETRIA	Nº FEIÇÕES	SIST. REFERÊNCIA	PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA	ZONA	FONTE
Shapefile referente ao pontos de monitoramento de vibração na área de estudo	SHP	Ponto	9	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2017
Shapefile referente as áreas quilombolas localizadas no oeste da Bahia	SHP	Polígono	24	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	INCRA, 2018
Shapefile referente as quilometragens da área de estudo	SHP	Ponto	10	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2019, DNIT, 2015
Shapefile referente as áreas de recarga de aquíferos indicada pelas áreas de Latossolos proveniente dos dados de Pedologia que se sobrepõe a área do Chapadão do Ocidente Baiano e a área de Patamares do Chapadão do Ocidente Baiano proveniente dos dados de Geomorfologia	SHP	Polígono	35	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	IBGE, 2015, ITTI, 2020
Shapefile referente as regiões geomorfológicas	SHP	Polígono	140	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	IBGE, 2018
Shapefile referente as áreas de alterações antrópicas na área de estudo	SHP	Polígono	3	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	BDGEx, 2014
Shapefile referente as áreas de rochas na área de estudo	SHP	Polígono	49	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	BDGEx, 2018
Shapefile referente as áreas de terreno exposto na área de estudo	SHP	Polígono	515	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	BDGEx, 2018
Shapefile referente ao Rio Corrente	SHP	Linha	47	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ANA, 2010
Shapefile referente as áreas de mata atlântica do Brasil	SHP	Polígono	295	SIRGAS 2000	-	-	MMA, 2008

Fonte: A Autora (2020).

TABELA 3 – DADOS VETORIAIS

(continuação)

DESCRIÇÃO	TIPO	GEOMETRIA	Nº FEIÇÕES	SIST. REFERÊNCIA	PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA	ZONA	FONTE
Shapefile referente as feições do Sistema Cárstico João Rodrigues	SHP	Linha	4	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2017
Shapefile referente aos sítios arqueológicos presentes no buffer de 10km do empreendimento	SHP	Ponto	26	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	CNSA, 2018
Shapefile referente aos sítios arqueológicos presentes na escala 1 para 50 mil do empreendimento	SHP	Ponto	6	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	CNSA, 2018
Shapefile referente aos sítios arqueológicos cadastrados no CNSA/IPHAN	SHP	Ponto	30	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	CNSA, 2019
Shapefile referente as áreas de solo úmido e sujeito a inundação na área de estudo	SHP	Polígono	151	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	BDGEx, 2014
Shapefile referente as rodovias em território brasileiro	SHP	Linha	6492	SIRGAS 2000	-	-	DNIT, 2015
Shapefile referente as áreas susceptíveis à subsidência na área de estudo	SHP	Polígono	22	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2018
Shapefile referente as áreas de susceptibilidade a erosão na área do empreendimento escala 1 para 50 mil	SHP	Polígono	240	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2018
Shapefile referente as áreas de susceptibilidade a movimentos de massa na área do empreendimento escala 1 para 50 mil	SHP	Polígono	441	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2018
Shapefile referente as áreas de susceptibilidade a subsidência na área do empreendimento escala 1 para 50 mil	SHP	Polígono	22	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2018
Shapefile referente aos terminais ferroviários localizados na proximidade da área de estudo	SHP	Ponto	3	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2018
Shapefile referente as terras indígenas localizadas no oeste da Bahia	SHP	Polígono	7	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	FUNAI, 2018
Shapefile referente as torres de transmissão na área de estudo	SHP	Ponto	8	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2020
Shapefile referente aos trechos rodoviários constantes na área de estudo	SHP	Linha	7653	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	BDGEx, 2014

Fonte: A Autora (2020).

TABELA 3 – DADOS VETORIAIS

(conclusão)

DESCRIÇÃO	TIPO	GEOMETRIA	Nº FEIÇÕES	SIST. REFERÊNCIA	PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA	ZONA	FONTE
Shapefile referente as UC's - Limite do Parque municipal da Lagoa Azul - Adaptado do Decreto municipal de São Desidério nº07/2005	SHP	Polígono	2	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	MMA, 2018
Shapefile referente as unidades de conservação do estado da BA segundo o MMA	SHP	Polígono	175	SIRGAS 2000	-	-	MMA, 2018
Shapefile referente as unidades litoestratigráficas	SHP	Polígono	6	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	Modificado de CPRM, 2003
Shapefile referente ao uso do solo para a área de estudo de análise de paisagem	SHP	Polígono	1960	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	BDGEx, 2014
Shapefile referente ao uso do solo rural da área de estudo	SHP	Polígono	4	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	MAPBIOMAS, 2018
Shapefile referente ao uso e ocupação do solo para a área de estudo	SHP	Polígono	143613	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	MAPBIOMAS, 2018
Shapefile referente as classes de uso do solo dentro da APA de São Desidério	SHP	Polígono	1189	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	MAPBIOMAS, 2018
Shapefile referente ao uso do solo urbano das cidades de Barreiras, Catolândia e São Desidério	SHP	Polígono	64	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2020
Shapefile referente a vegetação natural da AE biótico do ano de 2018	SHP	Polígono	1098	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2019
Shapefile referente as fitofisionomias da área de estudo	SHP	Polígono	107	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	Projeto Radam Brasil, 1992
Shapefile referente as vias vicinais que ligam as comunidades as rodovias	SHP	Linha	7	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	BDGEx, 2014
Shapefile referente a Zona de Amortecimento da Lagoa Azul	SHP	Polígono	1	SIRGAS 2000	Universal Transversa de Mercator	23 S	ITTI, 2018

Fonte: A Autora (2020).

TABELA 4 - DADOS MATRICIAIS

DESCRIÇÃO	TIPO	SIST. REFERÊNCIA	ZONA	PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA	FONTE
Superfície que representa a altitude da região de estudo	Raster	SIRGAS2000	23S	Universal Transversa de Mercator	TOPODATA, 2011
Raster de declividade para Área de Estudo	Raster	SIRGAS2000	23S	Universal Transversa de Mercator	ITTI, 2019
Superfície de áreas de suscetibilidade a erosão gerada através de álgebra de mapas com os seguintes dados: Precipitação, Declividade, Pedologia e Uso do Solo para a Área Diretamente Afetada	Raster	SIRGAS2000	23S	Universal Transversa de Mercator	ITTI, 2020
Superfície referente ao recorte das classes de uso e ocupação provenientes da classificação do MAPBIOMAS para o ano de 2000	Raster	SIRGAS2000	23S	Universal Transversa de Mercator	MAPBIOMAS, 2019
Modelo digital de elevação para Área de Estudo	Raster	SIRGAS2000	23S	Universal Transversa de Mercator	ITTI, 2018
Ortofotos da região das Alternativas Locacionais	Raster	SIRGAS2001	23S	Universal Transversa de Mercator	ITTI, 2020
Ortofoto da região do EIA	Raster	SIRGAS2000	23S	Universal Transversa de Mercator	ITTI,2019
Superfície de suscetibilidade a movimentos de massa gerada através de álgebra de mapas com os seguintes dados: Precipitação, Declividade, Pedologia e Uso do Solo para a Área Diretamente Afetada	Raster	SIRGAS2000	23S	Universal Transversa de Mercator	ITTI, 2020

Fonte: A Autora (2020).

4.1.4 Pesos para os critérios socioambientais

Os critérios definidos na Etapa I tiveram pesos atribuídos, para a as análises realizadas. Nos fluxos de trabalho em BIM e SIG, que englobam algoritmos de otimização, os pesos foram atribuídos previamente à elaboração do traçado, de modo que a otimização levou em conta as áreas de restrição impostas pelos pesos. Após as alternativas terem seus traçados definidos, pesos foram utilizados na análise multicritério de comparação dos traçados obtidos.

4.1.4.1 Pesos aplicados aos algoritmos de otimização

A cada camada adicionada aos modelos das tecnologias SIG e BIM, pode-se atribuir um valor de restrição, que indica ao sistema que evite a alocação do eixo sobre regiões com essa parametrização.

Os pesos foram diferenciados para situações também diversas, aquelas que podem ser revertidas ou mitigadas por obras de engenharia, das que não possuem mitigação possível. Foi utilizado ainda como critério a quantidade de terraplenagem necessária, atribuindo-se valores para as diferentes declividades de terreno. Os pesos variam de 0 a 100, sendo 0 o desejável e 100 totalmente restritivo.

Desse modo, a instabilidade por exemplo, recebeu pesos diferenciados para instabilidade por subsidência, erosão e movimentos de massa, dadas as suas diversas características levando, mais uma vez em consideração as técnicas de mitigação ou minimização dos impactos. A declividade recebeu pesos em função da classe da rodovia a ser traçada, que tem por rampa máxima 7% de declividade.

Assim, o terreno com inclinação natural de até 7% deve ser o local preferencial para passagem da via, recebendo peso 0. As declividades superiores foram divididas em 5 categorias, visando os custos envolvidos de terraplenagem para implantação e áreas de empréstimo ou bota-fora.

A área urbana consolidada e perímetro urbano receberam pesos diferentes pois, embora o perímetro urbano constitua-se em área de expansão da cidade, não há em sua totalidade edificações construídas e infraestrutura implantada, resultando em custos de desapropriação diferenciados para as duas categorias.

As Áreas de Preservação Permanente (APP) consideradas nos modelos constituem as margens de cursos d'água, como previamente explicitado. Assim,

para consideração pelo algoritmo de otimização, o peso utilizado foi 70, de modo a permitir apenas a implantação das cabeceiras de pontes no local, e não que o traçado se desenvolva sobre as APPs.

No que se refere às cavidades, aplicou-se o peso de 70 em um raio de 250 metros de cada cavidade cadastrada no CECAV (em seguimento à normativa CONAMA 347/2004). Utilizou-se de tal parâmetro para que o algoritmo de otimização desvie prontamente da região de mais intensa concentração espeleológica.

Os pesos e parâmetros adotados no SIG são apresentados na TABELA 5.

TABELA 5 - PARÂMETROS DE ENTRADA DA OTIMIZAÇÃO DE SUPERFÍCIE EM SIG

PARÂMETROS	***PESOS***
Instabilidade por subsidência	100
Área urbana consolidada	100
Patrimônio histórico	100
APA São Desidério	100
Áreas de várzeas e baixadas	90
Instabilidade por movimentos de massa	90
APP	70
Cavidades cadastradas (250 m do eixo)	70
Perímetro urbano	70
Suscetibilidade a erosão	60
Afloramento rochosos (lapiás)	50
Vegetação nativa	50
Declividade	
0 a 7	0
7 a 10	50
10 a 14	60
14 a 20	70
20 a 30	80
Acima de 30%	90

Fonte: A Autora (2020).

Ressalta-se que os parâmetros inclusos na otimização com o *software* BIM empregado (Autodesk Infraworks 360) permitem a automatização de características geométricas da via a ser projetada, tais como a projeção de Obras de Arte Especiais como pontes ou viadutos em aterros acima de uma altura escolhida pelo projetista. Outra automatização possível refere-se a largura máxima do offset de terraplenagem a ser empregado, podendo-se definir um limite de nivelamento lateral, além da inclinação de corte e de aterro.

Quanto às características geométricas, a rampa máxima pode ser definida e o raio de curvatura das curvas horizontais são restrições de alinhamento e perfil passíveis de otimização pela ferramenta utilizada.

Em função do apresentado, e considerando-se os critérios de restrições socioambientais em estudos, os pesos e parâmetros adotados em BIM são apresentados na

TABELA 6.

TABELA 6 - PARÂMETROS DE ENTRADA DA OTIMIZAÇÃO COM BIM

Veloc. Diretriz		80 km/h
Superfície		BING
Zonas de custo (áreas de restrição)		Núcleo urbano
Mapa de adequabilidade		
	Água	30
	Cavernas	100
	Áreas de cobertura	50
	Hidrografia	50
	Vegetação	60
Regras de construção		
	Nivelamento lateral - limite de eixo	10 m
	Pontes em aterros altos	Desativado
	Inclinação de Corte	1,0:1
	Inclinação de Aterro	1,5:1
Restrições de alinhamento		
	Raio mínimo	280,89 m
Restrições de perfil		
	Nivelamento máximo	4.5%

Fonte: A Autora (2020).

4.1.4.2 Pesos aplicados na análise multicritério

Para a análise multicritério foram adotados pesos com base nos trabalhos de Lisboa (2002) e Ramalho e Assigno (2017), adaptados aos critérios de restrições socioambientais adotados pelo IBAMA para o trecho em estudo.

Os pesos adotados para cada critério são apresentados na

TABELA 7. Tais pesos foram definidos para cada critério elencado pelo IBAMA como restritivo no segmento estudado.

TABELA 7 - PESOS DA MCDA

	CRITÉRIOS	***PESOS***
I	Menor área total de supressão de vegetação nativa	86
II	Menor interferência em vegetação nativa	69
III	Menor interferência sobre corredores ecológicos	86
IV	Menor interceptação e/ou proximidade de Unidades de Conservação	84
V	Menor interceptação de Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade	84
VI	Menor interferência em Áreas de Preservação Permanente	84
VII	Menor transposição de cursos hídricos	72
VIII	Menor extensão de transposição de áreas de várzeas/baixadas	69
IX	Menor extensão do empreendimento	50
X	Menor volume de material movimentado (terraplenagem) e escavação/desmonte de rochas	60
XI	Menor extensão total de aterros	62
XII	Maior extensão total de túneis/viadutos/elevados	89
XIII	Menor interferência em áreas cársticas e ou com ocorrência de cavidades naturais	90
XIV	Menor interferência em áreas de instabilidade geológico-geotécnicas	90
XV	Menor extensão de interceptação de áreas urbanas	84
XVI	Menor quantitativo de realocação de população	90
XVII	Menor interceptação de terras indígenas, projetos de assentamento, comunidades quilombolas e tradicionais	69
XVIII	Menor interferência no patrimônio artístico e cultural	72
XIX	Menor interferência sobre áreas de uso comum utilizadas por comunidades tradicionais e extrativistas	84
XX	Menor custo financeiro total das obras	90

Fonte: A Autora (2020).

4.2 ETAPA II

A Etapa II consistiu na elaboração dos traçados por diferentes fluxos de trabalho. A seguir se encontram detalhados os resultados obtidos usando-se cada uma das tecnologias.

4.2.1 Alternativa por Sistema de Informação Geográfica (SIG)

De acordo com o que foi explicado anteriormente no item Revisão da Literatura, a alternativa com o uso de Sistemas de Informação Geográfica foi criada com a utilização de uma ferramenta de análise de superfícies com pesos e utilizando como base os critérios selecionados na Etapa I, como se aplicando o método de AIA de superposição de cartas.

Na plataforma SIG empregada, ArcMAP, os dados das restrições existentes foram transformados em superfície tridimensional para a determinação do caminho ótimo, que posteriormente teve seu traçado corrigido para a adequação das características técnicas da via.

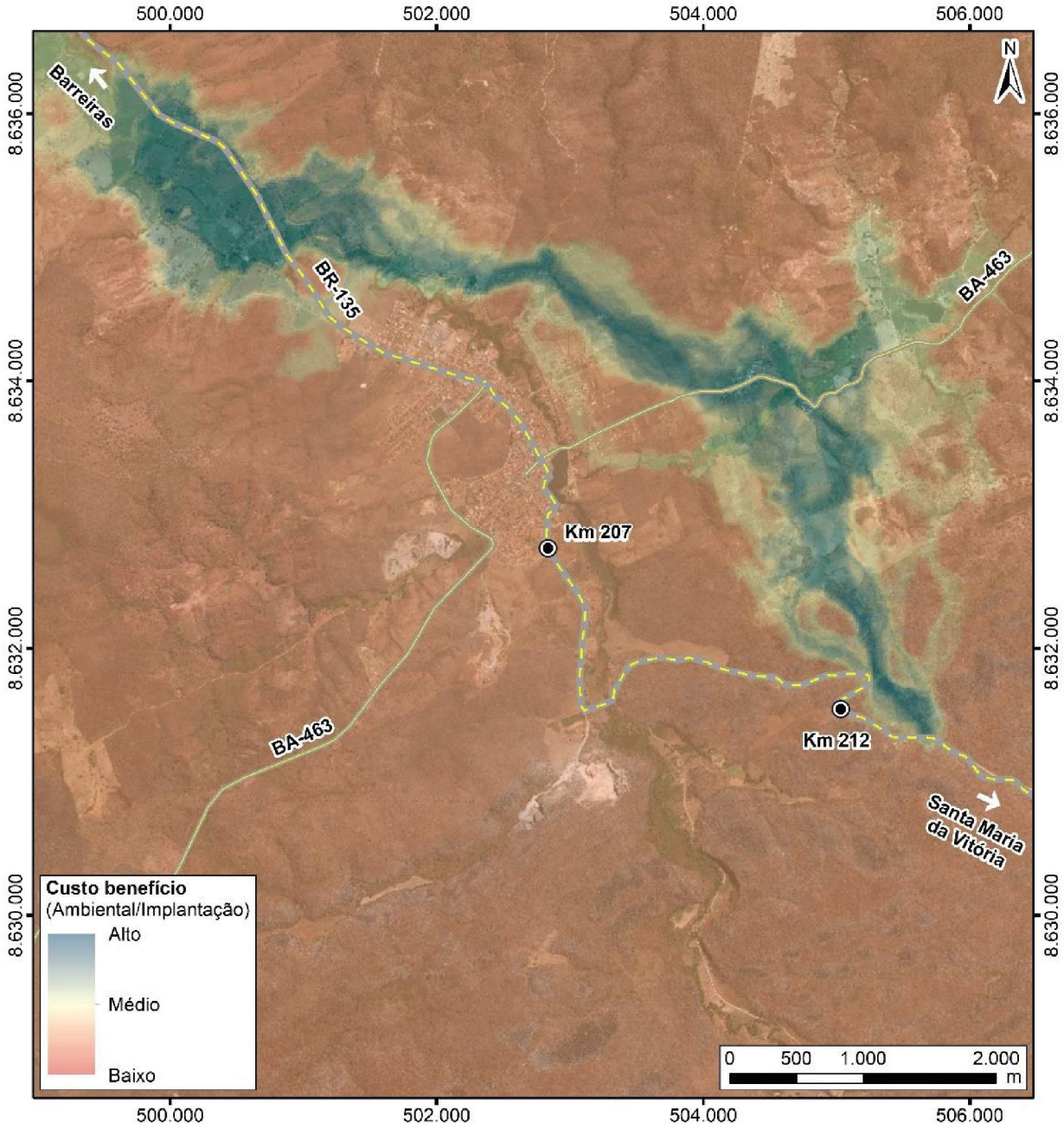
A partir da aplicação dos pesos adotados em cada uma das camadas de dados vetoriais ou matriciais para a incorporação no *software* SIG, e utilizando da ferramenta de análise de custo-benefício ambiental sobre álgebra de mapas, obteve-se a superfície otimizada apresentada na FIGURA 13.

Na figura podem-se observar que as regiões marcadas em tonalidade verde apresentam melhor relação custo benefício em função dos pesos empregados,

Faz-se importante ressalta que não se trata de uma relação monetária quando se utiliza a terminologia “custo”, mas sim de uma terminologia de quantificação do custo ambiental em forma de dano, apresentado pela quantidade (em área) de cada restritivo multiplicado por seu peso.

O inverso é válido para o benefício, pois apresenta menor pontuação na escala, seja por haver menor área interceptada ou menor peso adotado para o critério restritivo. A combinação de todas as camadas versus todos os pesos resulta, portanto, na superfície gerada.

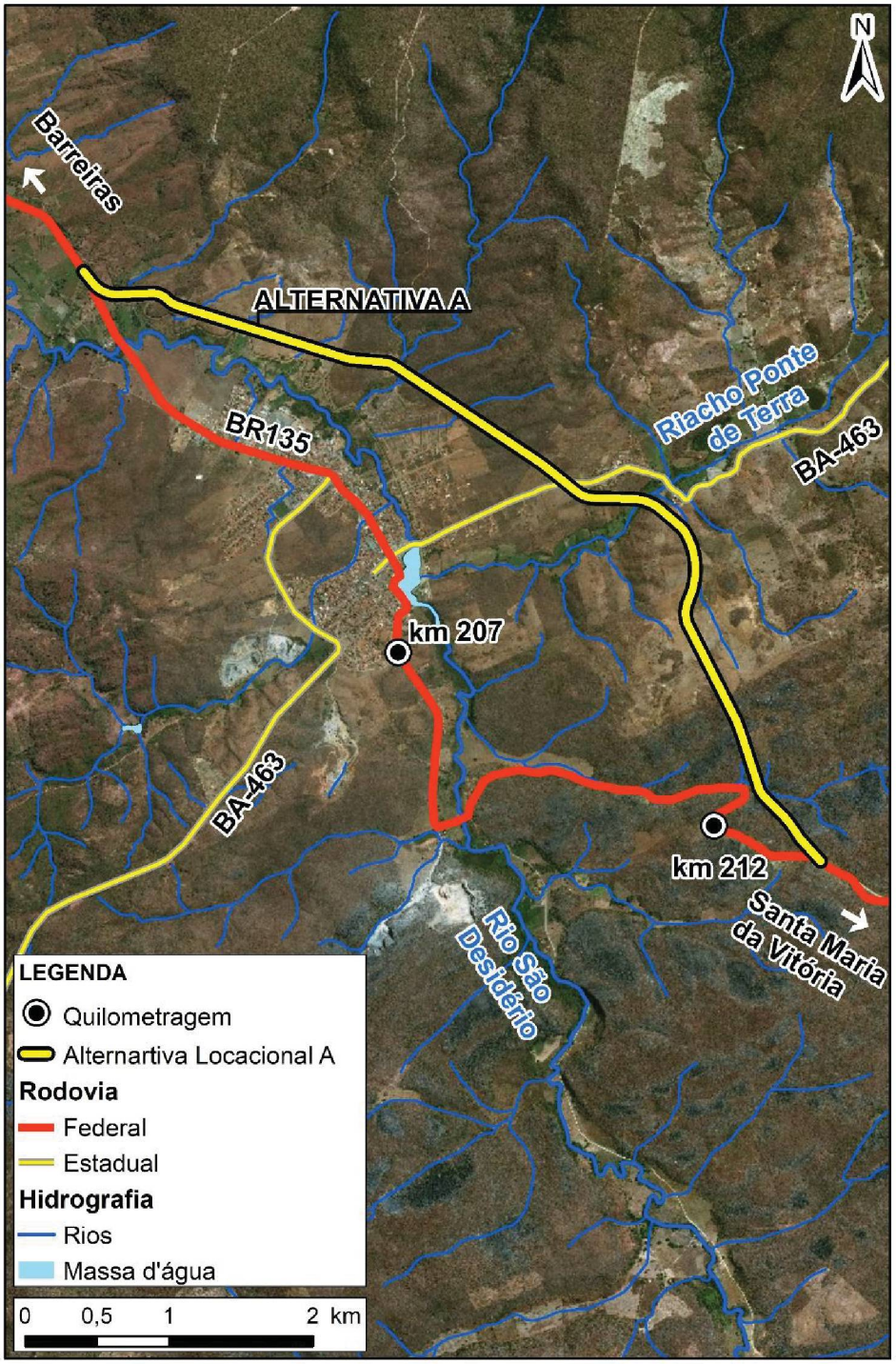
FIGURA 13 - SUPERFÍCIE DE CUSTO-BENEFÍCIO GERADA COM SIG



Fonte: A Autora (2020).

A transposição desta superfície para o *software* de desenho geométrico paramétrico AutoCAD CIVIL 3D permitiu a criação e um eixo de traçado pelo local de melhor custo-benefício observando-se os padrões geométricos da classe da rodovia projetada. O traçado resultante encontra-se apresentado na FIGURA 14.

FIGURA 14 - TRAÇADO GERADO POR TECNOLOGIA SIG (ALTERNATIVA EM SIG)



Fonte: A Autora (2020).

Os valores obtidos para a alternativa gerada são apresentados na TABELA 8.

TABELA 8 - QUANTITATIVOS ALTERNATIVA SIG

Critérios avaliados	***Und.***	***A***
Transposição de cursos hídricos permanentes	und.	0
Extensão de transposição de áreas de várzeas	m	-
Extensão estimada de pontes	m	-
Interferência em APP	ha.	0,45
Área estimada de supressão de vegetação nativa	ha.	18,69
Interferência em áreas cársticas	ha.	42,51
Interferência em áreas de instabilidade geológico-geotécnicas	ha.	0,17
Custo estimado	Milh R$	28,25
Interceptação de áreas urbanas	ha.	5,57
Quantitativo de realocação de população	hab.	20
Área total das edificações a serem desapropriadas	m^2	416
Edificações a serem desapropriadas	und.	5
Interceptação e terras indígenas, quilombolas	ha.	-
Interferências com patrimônio artístico e cultural	und.	-
Interferências sobre áreas de uso comum utilizadas por comunidades tradicionais e extrativistas	m^2	-
Raio mínimo	m	140
Rampa máxima	%	6
Volume de material movimentado (corte)	10^3 m^3	585,55
Volume de material movimentado (aterro)	$10^3 m^3$	446,8
Extensão total de aterros	km	4

Fonte: A Autora (2020).

4.2.2 Alternativa de emprego da Modelagem de Informações da Construção (BIM)

A Alternativa em tecnologia BIM busca realizar a mesma otimização da criada com SIG, porém diretamente no *software* de modelagem de informação, como se aplicando o método de AIA de superposição de cartas, em conjunto com o método de redes de interação por utilização de tecnologia computacional 3D paramétrica e algoritmos de otimização.

No *software* BIM Autodesk Infraworks 360, as camadas de dados foram adicionadas mediante atribuição de valores, pesos e parâmetros máximos, para A otimização de traçado, custos e perfil vertical.

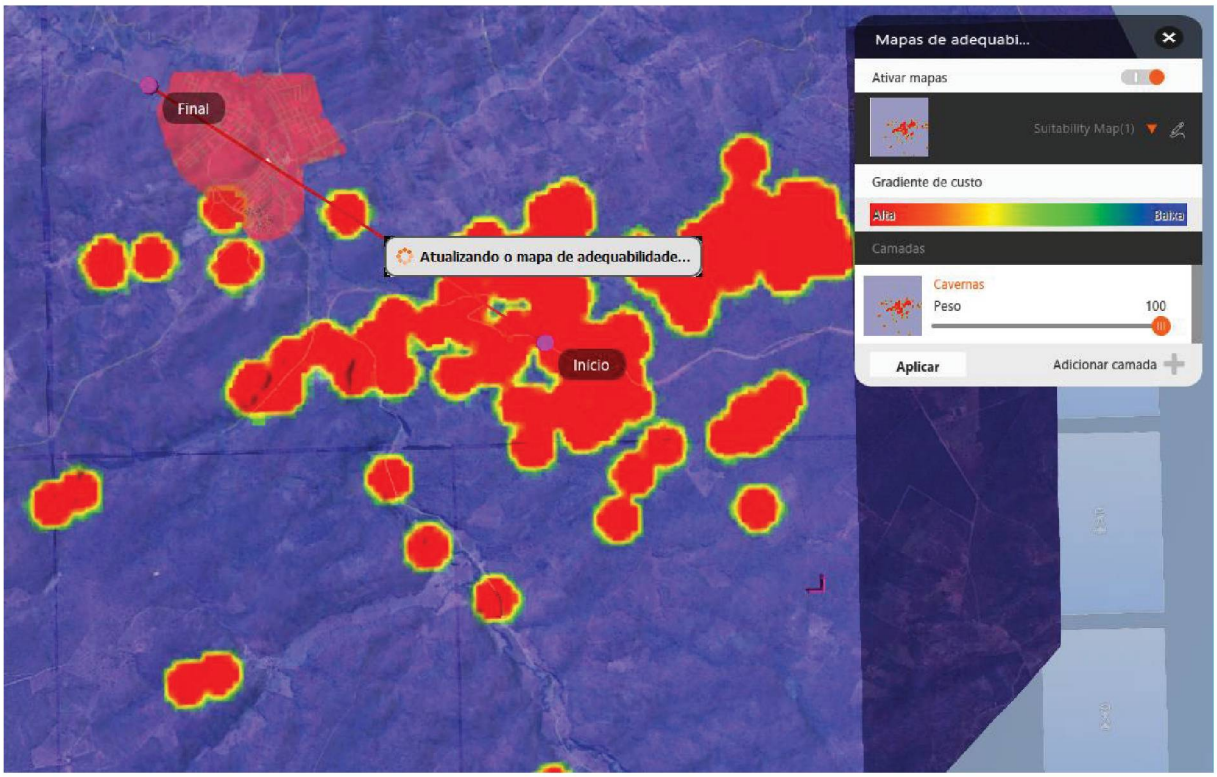
A partir da utilização dos dados vetoriais e matriciais incorporados diretamente ao *softwar*e BIM, os pesos foram atribuídos a partir de sua prioridade de conservação, ou seja, áreas mais sensíveis foram consideradas com pesos mais

altos. A manutenção de características que não podem ser mitigadas por obras de engenharia e alternativas tecnológicas, ou que resultam em altos custos, foram consideradas com maiores pesos restritivos.

Por se tratar de um *software* paramétrico com atribuição e informações aos componentes de projeto, a otimização de corredor requer a determinação de parâmetros relativos não somente aos componentes ambientais da região, mas também parâmetros geométricos relativos à classe de projeto da via (Classe II).

Entretanto, a ferramenta de análise do *software* não suportou a quantidade de camadas necessárias à análise, não gerando um traçado. A FIGURA 15 representa o *status* do *software* (inábil a completar a otimização do corredor).

FIGURA 15- ANÁLISE DE OTIMIZAÇÃO DO TRAÇADO NÃO FINALIZADA



Fonte: A Autora (2020).

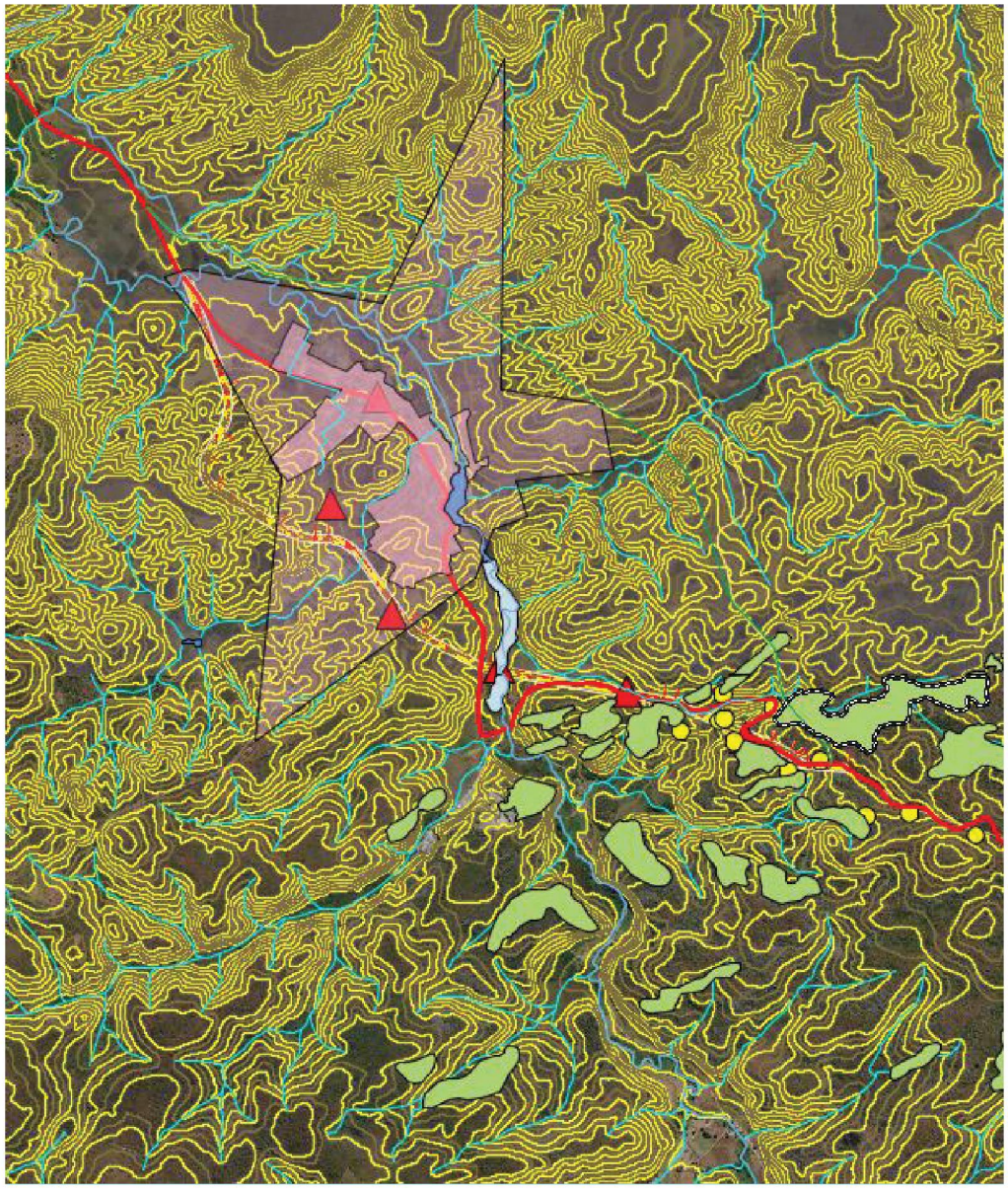
4.2.3 Alternativa não otimizada – em sistema CAD

A alternativa em CAD paramétrico foi elaborada a partir da utilização dos dados vetoriais e matriciais incorporados diretamente ao *software* de projeto

geométrico (AutoCAD CIVIL 3D), aplicando o método de AIA de superposição de cartas e utilizando a tecnologia computacional 2D paramétrica.

No *software* de desenho, as camadas de dados foram consideradas sem a atribuição de pesos, realizando-se análise visual e altimétrica para a criação e um eixo com a menor interferência considerada pelo projetista operador do *software*. A interface de projeto é apresentada na FIGURA 16.

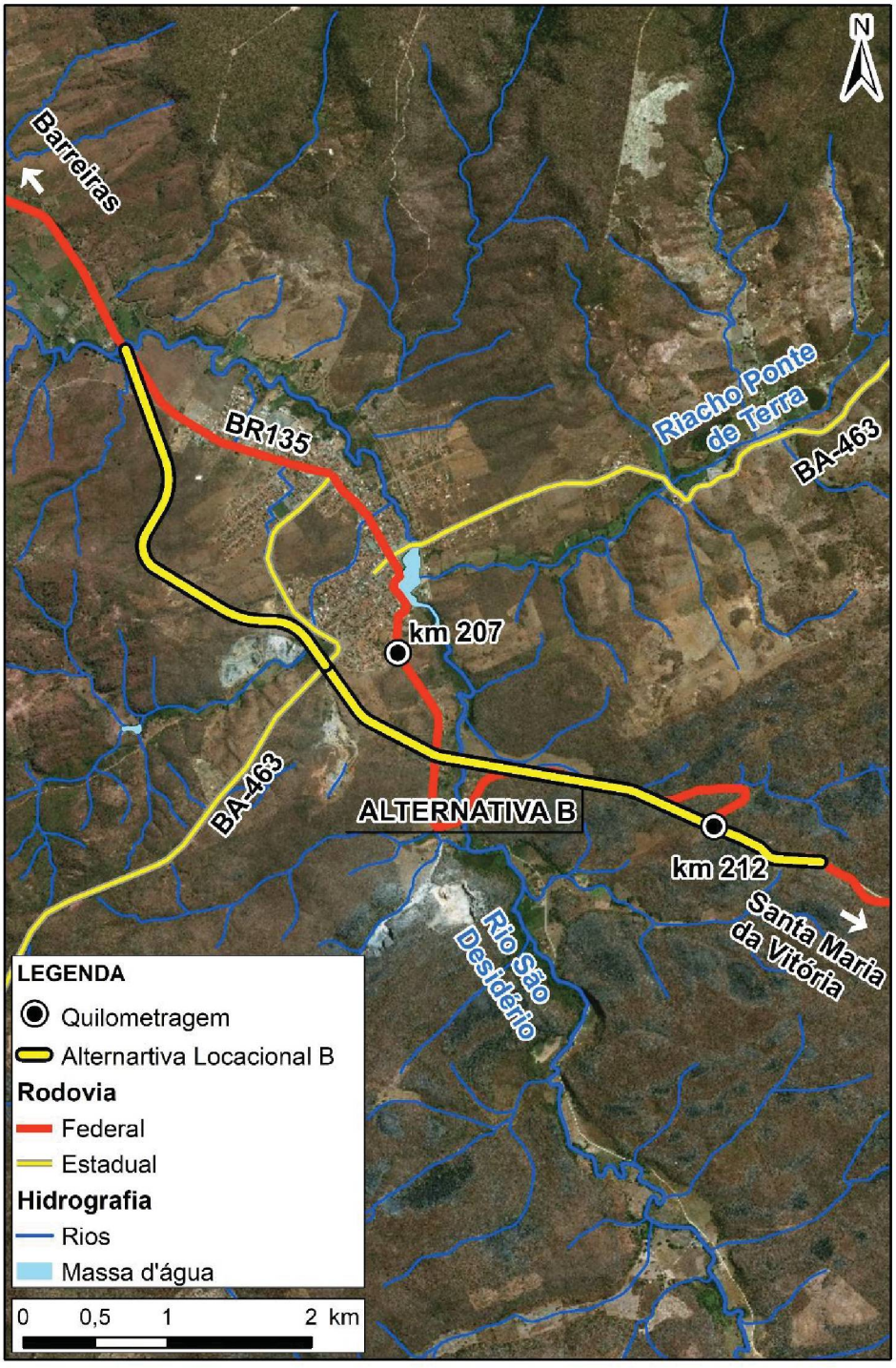
FIGURA 16 - *SOFTWARE* DE DESENHO PARAMÉTRICO COM DADOS DE SIG



Fonte: A Autora (2020).

O traçado resultante se encontra ilustrado na FIGURA 17.

FIGURA 17 - TRAÇADO GERADO SEM OTIMIZAÇÃO (ALTERNATIVA EM CAD)



Fonte: A Autora (2020).

Os valores quantitativos da alternativa CAD obtidos para a alternativa gerada estão presentes na TABELA 9.

TABELA 9 - QUANTITATIVOS ALTERNATIVA EM CAD

Critérios avaliados	***Und.***	***B***
Transposição de cursos hídricos permanentes	und.	1
Extensão de transposição de áreas de várzeas	m	0,7
Extensão estimada de pontes	m	70
Interferência em APP	ha.	0,89
Área estimada de supressão de vegetação nativa	ha.	17,88
Interferência em áreas cársticas	ha.	41,26
Interferência em áreas de instabilidade geológico-geotécnicas	ha.	3,77
Custo estimado	Milh R$	27,09
Interceptação de áreas urbanas	ha.	10,46
Quantitativo de realocação de população	hab.	4
Área total das edificações a serem desapropriadas	m^2	21,01
Edificações a serem desapropriadas	und.	1
Interceptação e terras indígenas, quilombolas	ha.	-
Interferências com patrimônio artístico e cultural	und.	-
Interferências sobre áreas de uso comum utilizadas por comunidades tradicionais e extrativistas	m^2	-
Raio mínimo	m	150
Rampa máxima	%	7
Volume de material movimentado (corte)	10^3 m^3	493,92
Volume de material movimentado (aterro)	$10^3 m^3$	388,19
Extensão total de aterros	km	3,3

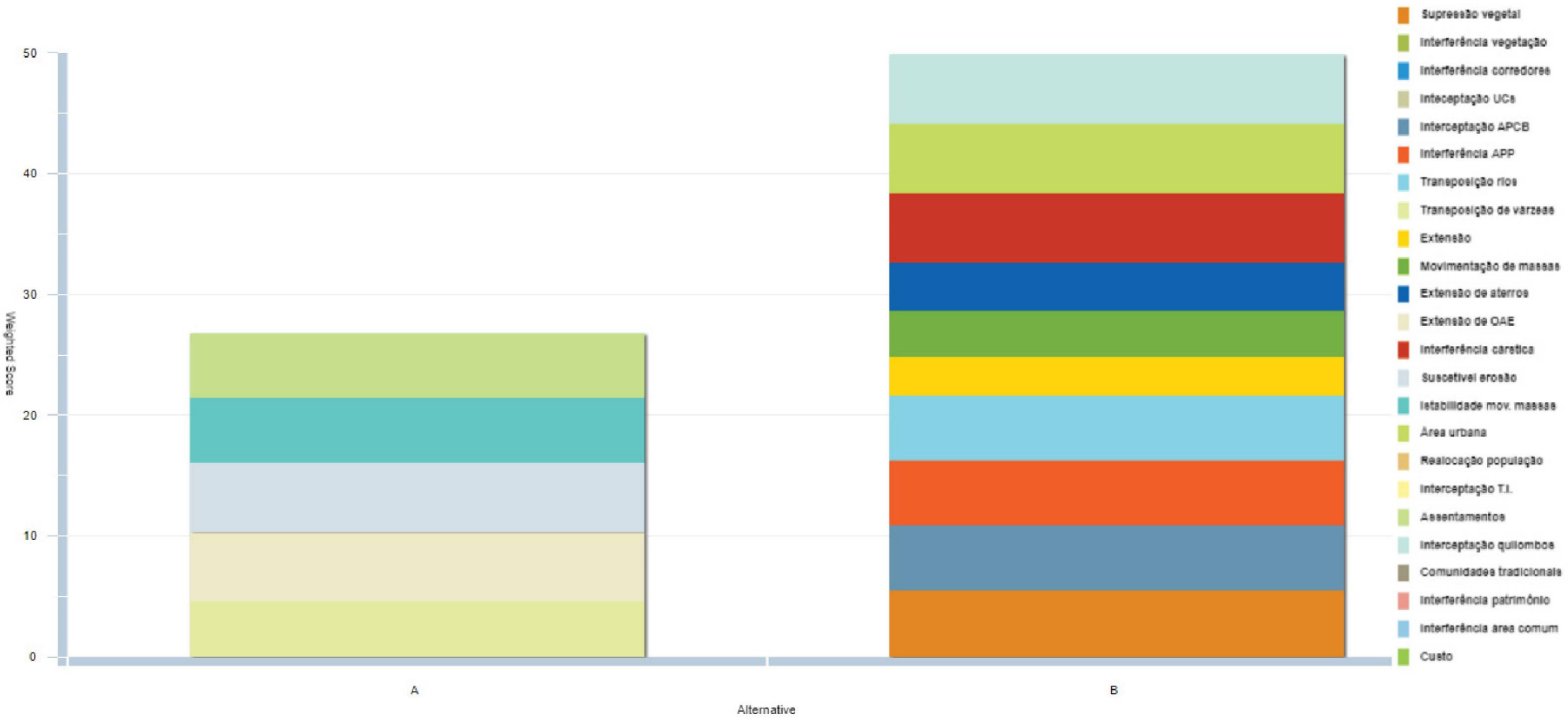
Fonte: A Autora (2020).

4.3 ETAPA III

A partir das alternativas apresentadas, com a análise dos critérios de restrição foi escolhido o traçado preferencial para o segmento. Para auxílio na tomada de decisão e comparação dos traçados, foi utilizado o Método de Análise Hierárquica - AHP (*Analytic Hierarchy Process*).

A aplicação dos pesos definidos na Etapa I como índices de intensidade relativa resultou em uma matriz de critérios aplicada na avaliação comparativa. Para composição da matriz utilizou-se do sistema ElectioVIS com método AHP. Os resultados encontram-se representados no gráfico da FIGURA 18.

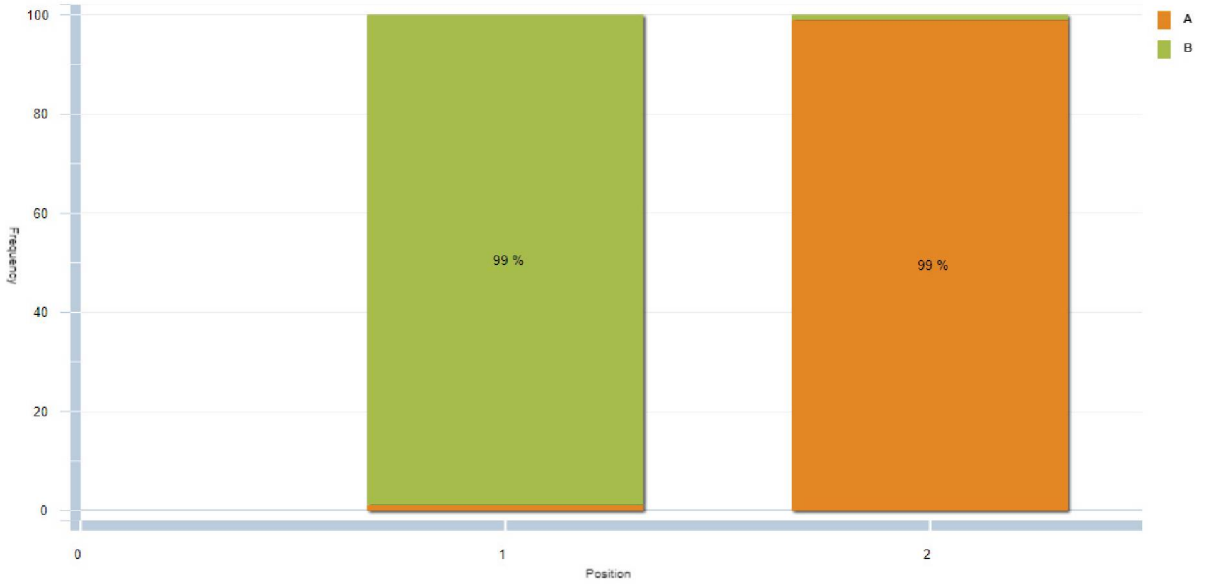
FIGURA 18 - RESULTADOS DA MCDA ENTRE ALTERNATIVAS SIG E CAD



Fonte: A Autora (2020).

Para análise de sensibilidade dos pesos adotados, aplicou-se uma simulação Monte Carlo. Por meio do sistema ElectioVis de análise multicritério, foram realizadas mil iterações com valores randômicos, resultando na predominância da Alternativa CAD em 99% das vezes, conforme demonstrado pela FIGURA 19.

FIGURA 19 - RESULTADOS DA SIMULAÇÃO MONTE CARLO



Fonte: A Autora (2020).

4.4 ETAPA IV

Conforme detalhado na seção de Material e Métodos, a etapa IV consistiu na aplicação de um método tradicional de AIA para verificação das alternativas geradas, e comparação com os resultados obtidos pelos métodos multicritérios aplicados na etapa III.

Inicialmente foram determinados os impactos de possível ocorrência no subtrecho em estudo, considerando-se as ações previstas por fase.

Na fase de planejamento foram considerados impactos decorrentes das ações:

- Estudo de Viabilidade;
- Estudo de traçado/Projeto básico.

Na fase de implantação foram considerados impactos decorrentes das ações:

- Desapropriação de terras;
- Alocação de mão-de-obra;
- Infraestrutura e Obras de Apoio;
- Remoção da cobertura vegetal;
- Remoção de rocha;
- Preparação da Base e Pavimentação;
- Acessos de Serviços e
- Obras de Arte.

Na fase de operação foram considerados impactos decorrentes das ações:

- Abertura de tráfego;
- Conservação e manutenção.

Além dos impactos propostos pelo DNIT e DNER e cabíveis ao empreendimento estudado, foram incluídos impactos relativos à situação excepcional do subtrecho, relativa ao alto potencial espeleológico da região da implantação do segmento utilizado por este estudo de caso. Assim, foram também incluídos na listagem os seguintes impactos:

- Contribuição científica pela caracterização espeleológica, impacto positivo do meio socioeconômico, ocorrente na fase de planejamento;
- Interferência em regiões cársticas, impacto negativo do meio físico e biótico, ocorrente na fase de implantação;
- Potencialização do Turismo Ecológico, impacto positivo do meio socioeconômico, ocorrente na fase de operação.

Desse modo, os impactos selecionados com possibilidade de ocorrência no subtrecho estudado para cada uma das fases, estão explicitados no QUADRO 11.

QUADRO 11 - RELAÇÃO DE IMPACTOS PARA O SEGMENTO ESTUDADO

(continua)

Fase	Impactos ambientais	Meio	Natureza
PLANEJAMENTO	Geração de renda e emprego	Socioeconômico	Benéfico
	Expectativa de desenvolvimento regional	Socioeconômico	Benéfico
	Especulação imobiliária	Socioeconômico	Adverso
	Geração de conflitos de uso e ocupação do solo	Socioeconômico	Adverso
	Pressão sobre patrimônio natural e cultural	Socioeconômico	Adverso
	Contribuição científica pela caracterização espeleológica	Socioeconômico	Benéfico
	Perspectiva de desenvolvimento regional	Socioeconômico	Benéfico
	Tensão social	Socioeconômico	Adverso
IMPLANTAÇÃO	Parcelamento do solo e alteração da modalidade de uso	Físico	Adverso
	Tensão social	Socioeconômico	Adverso
	Deslocamento de população	Socioeconômico	Adverso
	Perdas de áreas produtivas e realocamento de infraestrutura	Socioeconômico	Adverso
	Geração de renda e emprego	Socioeconômico	Benéfico
	Geração de impostos e tributos	Socioeconômico	Benéfico
	Incremento de estrutura produtiva e estrutura de serviços	Socioeconômico	Benéfico
	Potencial de atração de imigrantes	Socioeconômico	Adverso
	Aumento dos riscos de doenças socialmente transmissíveis	Socioeconômico	Adverso
	Aumento da demanda de infraestrutura urbana	Socioeconômico	Adverso
	Alteração de hábitos e costumes	Socioeconômico	Adverso
	Disposição de efluentes do solo	Físico	Adverso

Fonte: A Autora (2020).

QUADRO 11 - - RELAÇÃO DE IMPACTOS PARA O SEGMENTO ESTUDADO

(conclusão)

Fase	Impactos ambientais	Meio	Natureza
IMPLANTAÇÃO	Remoção da cobertura vegetal	Biótico	Adverso
	Geração de conflitos de uso e ocupação do solo	Socioeconômico	Adverso
	Alterações de habitats e da paisagem	Biótico	Adverso
	Ruídos e vibrações	Físico	Adverso
	Alteração do perfil das encostas	Físico	Adverso
	Emissão de gases e material particulado	Físico	Adverso
	Interferência em região cárstica	Físico e Biótico	Adverso
	Degradação dos solos e riscos de erosão	Físico	Adverso
	Poluição hídrica e degradação dos ecossistemas aquáticos	Físico e Biótico	Adverso
	Degradação da vegetação	Biótico	Adverso
	Alteração do microclima	Biótico	Adverso
	Alteração no "*run-off*"	Físico	Adverso
	Degradação da vegetação, da paisagem e do patrimônio natural e cultural	Socioeconômico	Adverso
	Degradação de vegetação ciliar	Biótico	Adverso
OPERAÇÃO	Emissão de gases particulados	Físico	Adverso
	Aumento de pressão sonora	Físico	Adverso
	Riscos de acidentes devido ao aumento do fluxo de tráfego	Biótico e Socioeconômico	Adverso
	Geração de impostos e tributos	Socioeconômico	Benéfico
	Fomento da estrutura produtiva e de serviços	Socioeconômico	Benéfico
	Melhoria do fluxo de circulação de mercadorias e produtos	Socioeconômico	Benéfico
	Indução do crescimento econômico	Socioeconômico	Benéfico
	Potencialização do Turismo Ecológico	Socioeconômico	Benéfico
	Melhoria do nível de vida	Socioeconômico	Benéfico
	Acompanhamento e controle de erosão e reabilitação de áreas degradadas	Físico	Benéfico
	Proteção e limpeza da faixa de domínio	Socioeconômico	Benéfico
	Campanhas de educação ambiental e de trânsito	Socioeconômico	Benéfico
	Proteção da sinalização de segurança	Socioeconômico	Benéfico

Fonte: A Autora (2020).

Definidos os impactos com possibilidade de ocorrência, procedeu-se a matriz de avaliação.

Uma vez que ambos os traçados gerados possuem extensões totais similares e se localizam na mesma região de abrangência, os critérios da matriz não possuem sensibilidade suficiente para diferenciar um do outro, devido às escalas aplicadas pela metodologia (vide item 3.4).

Desse modo, foram elaboradas matrizes para cada alternativa locacional gerada, porém os graus de impacto resultaram idênticos devido ao caráter qualitativo da matriz de avaliação empregada. Apresentam-se a seguir as matrizes geradas relativas às fases de planejamento, implantação e operação do segmento rodoviário estudado (TABELAS 11, 12 e 13).

Conforme apresentado no item de Materiais e Métodos, as categorias de quantificação são:

- Natureza
- Temporalidade
- Reversibilidade
- Magnitude
- Abrangência
- Probabilidade de Ocorrência

Para tais categorias são atribuídos valores de 1 a 3 ou 4, e a parti do cálculo de significância versus a probabilidade de ocorrência do impacto, chega-se a uma valoração por escala, classificando os impactos como “fraco”, “moderado” ou “forte”, conforme escala de valores apresentada na TABELA 10.

TABELA 10 - ESCALA DE SIGNIFICÂNCIA DOS IMPACTOS DO MÉTODO CGMAB-UFPR

Grau de Impacto	**Escala numérica**
Fraco	4 a 14
Moderado	15 a 28
Forte	29 a 42

Fonte: Pimenta *et al*, 2014.

TABELA 11 - MATRIZ DE IMPACTOS DA FASE DE PLANEJAMENTO

	Impacto ambiental	Natureza		Temporalidade				Reversibilidade		Magnitude			Abrangência				Probabilidade de Ocorrência			Grau Impacto	Avaliação
		Positivo	Negativo	Imed.	Curt.	Med.	Long.	Rev.	Irrev.	Peq.	Méd.	Gran.	1	2	3	4	Baixa	Média	Alta		
				1	2	3	4	1	3	1	2	3					1	2	3		
Meio Socioeconômico	Geração de renda e emprego	x		x				x			x			x					x	18	Moderado
	Expectativa de desenvolvimento regional	x		x				x			x			x					x	18	Moderado
	Especulação imobiliária	x		x				x			x			x					x	18	Moderado
	Geração de conflitos de uso e ocupação do solo		x	x				x		x				x				x		-10	Fraco
	Pressão sobre patrimônio natural e cultural		x	x				x		x			x				x			-4	Fraco
	Contribuição científica pela caracterização espeleológica	x				x			x	x				x					x	27	Moderado
	Perspectiva de desenvolvimento regional	x		x				x			x				x				x	21	Moderado
	Tensão social		x	x				x		x				x			x			-5	Fraco
																		Total (-)		**-6**	Fraco
																		Total (+)		**20**	Moderado

Fonte: A Autora (2020).

TABELA 12 - MATRIZ DE IMPACTOS DA FASE DE IMPLANTAÇÃO

(continua)

	Impacto ambiental	Natureza		Temporalidade				Reversibilidade		Magnitude			Abrangência				Probablidade de Ocorrência			Grau Impacto	Avaliação
		Positivo	Negativo	Imed.	Curt.	Med.	Long.	Rev.	Irrev.	Peq.	Méd.	Gran.	1	2	3	4	Baixa	Média	Alta		
				1	2	3	4	1	3	1	2	3					1	2	3		
Meio Físico	Degradação dos solos e riscos de erosão		x	x				x			x		x					x		-10	Fraco
	Emissão de gases e material particulado		x	x				x		x			x						x	-12	Fraco
	Ruídos e vibrações		x	x				x		x			x						x	-12	Fraco
	Poluição hídrica e degradação dos ecossistemas aquáticos		x	x				x		x			x				x			-4	Fraco
	Interferência em regiões cársticas		x	x					x			x	x						x	-24	Moderado
	Alteração do perfil das encostas		x				x				x		x						x	-21	Moderado
	Parcelamento do solo e alteração da modalidade de uso		x				x			x			x						x	-18	Moderado
	Alteração no "run-off"		x				x		x		x			x				x		-22	Moderado
	Disposição de efluentes do solo		x	x					x	x			x				x			-6	Fraco
Meio Biótico	Remoção da cobertura vegetal		x	x			x	x			x		x						x	-15	Moderado
	Degradação da vegetação		x		x			x		x			x						x	-15	Moderado
	Alterações de habitats e da paisagem		x	x				x			x		x						x	-15	Moderado
	Poluição hídrica e degradação dos ecossistemas aquáticos		x	x					x		x		x				x			-7	Fraco
	Interferência em regiões cársticas		x	x				x			x		x					x		-10	Fraco
	Degradação de vegetação ciliar		x	x				x		x			x					x		-8	Fraco
	Alteração do microclima		x				x		x	x			x				x			-9	Fraco

Fonte: A Autora (2020).

TABELA 11 - MATRIZ DE IMPACTOS DA FASE DE IMPLANTAÇÃO

(conclusão)

	Impacto ambiental	Natureza		Temporalidade				Reversibilidade		Magnitude			Abrangência				Probablidade de Ocorrência			Grau Impacto	Avaliação
		Positivo	Negativo	Imed.	Curt.	Med.	Long.	Rev.	Irrev.	Peq.	Méd.	Gran.	1	2	3	4	Baixa	Média	Alta		
				1	2	3	4	1	3	1	2	3					1	2	3		
Meio Socioeconômico	Incremento de estrutura produtiva e estrutura de serviços	x		x				x			x		x						x	15	Moderado
	Geração de renda e emprego	x		x				x			x		x						x	15	Moderado
	Aumento da demanda de infraestrutura urbana		x	x					x		x		x				x			-7	Fraco
	Geração de impostos e tributos	x		x				x			x		x						x	15	Moderado
	Deslocamento de população		x				x		x		x		x						x	-30	Forte
	Perdas de áreas produtivas e realocamento de infraestrutura		x	x					x		x		x					x		-14	Fraco
	Conflito de uso do solo		x	x					x		x		x					x		-14	Fraco
	Tensão social		x	x				x		x			x				x			-4	Fraco
	Potencial de atração de imigrantes		x	x				x		x			x				x			-4	Fraco
	Aumento dos riscos de doenças socialmente transmissíveis		x	x				x		x			x				x			-4	Fraco
	Alteração de hábitos e costumes		x	x				x		x			x				x			-4	Fraco
	Degradação da vegetação, da paisagem e do patrimônio natural e cultural		x				x		x	x			x					x		-18	Moderado
																		Total (-)		**-12**	Fraco
																		Total (+)		**15**	Moderado

Fonte: A Autora (2020).

TABELA 13 - MATRIZ DE IMPACTOS DA FASE DE OPERAÇÃO

	Impacto ambiental	Natureza		Temporalidade				Reversibilidade		Magnitude			Abrangência				Probablidade de Ocorrência			Grau Impacto	Avaliação
		Positivo	Negativo	Imed.	Curt.	Med.	Long.	Rev.	Irrev.	Peq.	Méd.	Gran.	1	2	3	4	Baixa	Média	Alta		
				1	2	3	4	1	3	1	2	3					1	2	3		
Meio Físico	Emissão de gases particulados		x				x	x		x			x						x	-21	Moderado
	Aumento de pressão sonora		x				x		x	x			x					x		-18	
	Acompanhamento e controle de erosão e reabilitação de áreas degradadas	X			x				X		x		x						x	24	Moderado
Meio Biótico	Riscos de acidentes devido ao aumento do fluxo de tráfego (atropelamento de fauna)		x	x					x		x		x						x	-21	Moderado
Meio Socioeconômico	Riscos de acidentes devido ao aumento do fluxo de tráfego		x				x		x		x		x				x			-10	Fraco
	Melhoria do fluxo de circulação de mercadorias e produtos	x					x		x		x				x				x	36	Forte
	Fomento da estrutura produtiva e de serviços	x					x	x			x				x				x	30	Forte
	Campanhas de educação ambiental e de trânsito	x			x			x		x				x					x	18	Moderado
	Geração de impostos e tributos	x		x				x			x		x						x	15	Moderado
	Indução do crescimento econômico	x				x			x		x			x					x	30	Forte
	Melhoria do nível de vida	x					x		x		x			x					x	33	Forte
	Proteção e limpeza da faixa de domínio	x					x	x		x			x						x	21	Moderado
	Proteção da sinalização de segurança	x					x	x		x			x						x	21	Moderado
	Potencialização do Turismo Ecológico	x					x	x		x				x				x		16	Moderado
																		Total (-)		**-18**	Moderado
																		Total (+)		**24**	Moderado

Fonte: A Autora (2020).

Em resumo, os graus de impacto calculados para cada fase são demonstrados na TABELA 14.

Ressalta-se que nesta tabela resumo apresentam-se separadamente as médias de cada meio avaliado, por natureza. Ou seja, os impactos negativos do meio biótico ocorrentes da fase de implantação podem ser analisados diretamente com os impactos negativos do meio biótico ocorrentes da fase de operação, por exemplo.

Essa separação foi apresentada visando fornecer maior clareza sobre a avaliação empregada, visto que impactos de diferentes naturezas e diferentes meios não podem ser considerados em um mesmo conjunto.

Tal necessidade decorre do fato que de um impacto positivo do meio físico não serve ao propósito de mitigação de um impacto negativo do meio físico ou biótico, sendo o inverso também verdadeiro.

Assim, embora as matrizes apresentem como resultado final a média de todos os impactos de cada natureza para cada fase do empreendimento, é possível também uma análise mais minuciosa, dos impactos de cada natureza em cada fase para cada um dos meios, conforme apresentado na TABELA 14.

TABELA 14 - RESUMO DAS MATRIZES DE IMPACTOS

		Geral	Meio Físico	Meio Biótico	Meio Socioeconômico
Planejamento	Grau de impacto positivo médio	**20**	0	0	20
	Grau de impacto negativo médio	**-6**	0	0	-6
	Grau de impacto médio da fase	**14**	**0**	**0**	**14**
Implantação	Grau de impacto positivo médio	**15**	0	0	15
	Grau de impacto negativo médio	**-12**	-14	-11	-11
	Grau de impacto médio da fase	**3**	**-14**	**-11**	**4**
Operação	Grau de impacto positivo médio	**24**	24	0	24
	Grau de impacto negativo médio	**-18**	-19	-21	-10
	Grau de impacto médio da fase	**6**	**5**	**-21**	**14**

Fonte: A Autora (2020).

Com relação à comparação das matrizes com os resultados da análise multicritério, observa-se primeiramente que pela aplicação da matriz de impactos é possível se determinar o grau de impacto previsto do empreendimento para cada

uma de suas fases, enquanto pela avaliação multicriterial só se obtém resultado relativo à adequação da alternativa em relação aos valores ótimos estabelecidos para os parâmetros.

A TABELA 15 evidencia o resultado da comparação realizada somente pela matriz de implantação e os resultados da AHP com os pesos de critérios estipulados e com pesos randômicos pela simulação de Monte Carlo.

Por tratar-se de um comparativo dos diversos métodos, os resultados da matriz de AIA empregada foram resumidos em forma somente de médias gerais por fase e natureza, não incluindo a diferenciação por meios nesta tabela, de modo a facilitar o entendimento do comparativo entre os diversos métodos empregados.

TABELA 15 - COMPARATIVO DE RESULTADOS DOS MÉTODOS EMPREGADOS

FASE	**MÉTODO**	**SIG**	**CAD**
Todas as fases	**AHP**	27,30% de adequação aos critérios ótimos	48% de adequação aos critérios ótimos
Todas as fases	**Monte Carlo com 1.000 iterações**	Mais adequado em 1% das hipóteses	Mais adequado em 99% das hipóteses
	Matriz de impactos		
Planejamento	Grau de impactos positivo médio	20	20
	Grau de impactos negativo médio	-6	-6
	Grau de impacto médio geral da fase (todos os meios)	14	14
Implantação	Grau de impactos positivo médio	15	15
	Grau de impactos negativo médio	-12	-12
	Grau de impacto médio geral da fase (todos os meios)	3	3
Operação	Grau de impactos positivo médio	24	24
	Grau de impactos negativo médio	-18	-18
	Grau de impacto médio geral da fase (todos os meios)	6	6

Fonte: A Autora (2020).

4.5 DISCUSSÕES

Primeiramente deve ser considerada a ressalva de que, embora as alternativas estudadas tenham sido denominadas "SIG", "BIM" e "CAD", isso se deu unicamente com propósito de facilitar o entendimento das análises realizadas, de modo a representar a tecnologia majoritariamente aplicada em cada fluxo de trabalho para otimização da análise de impactos na geração do traçado locacional. Entretanto, para a geração de cada alternativa várias tecnologias foram utilizadas, sendo todos os dados empregados em SIG. Desse modo, os fluxos de trabalho apresentados foram desenvolvidos utilizando-se da integração de SIG com programas paramétricos de tecnologia BIM, sejam eles de modelagem como o Infraworks (caso denominado "BIM") ou de desenho gráfico como o AutoCAD CIVIL 3D (caso denominado "CAD"). Ainda, a alternativa denominada "SIG", teve a análise de corredor realizada em *software* de tecnologia SIG, porém foi concluída também com uso de *software* de desenho gráfico paramétrico, o AutoCAD CIVIL 3D.

Assim, embora os fluxos de trabalho estudados tenham sido diferenciados, de maneira literal pode-se considerar que as alternativas estudadas se baseiam na aplicação de tecnologias BIM e SIG de maneira conjunta para a avaliação de impactos ambientais de estudo de traçado rodoviário, por meio do estudo de caso de trecho da BR-135/BA.

Necessário, contudo, se faz ressaltar que um dos fluxos empregados neste trabalho, referente a aplicação de um *software* de modelagem paramétrica 3D de tecnologia BIM, integrado a um sistema SIG para Avaliação de Impacto Ambiental em estudo de traçado rodoviário, não possibilitou a geração de um traçado otimizado pelo *software* Infraworks, contendo as camadas de restrições necessárias. Devido à limitação da área analisada, bem como quantidade de restritivos ambientais e da capacidade de processamento de dados em nuvem pela ferramenta de otimização paramétrica no *software* BIM empregado, não foi possível gerar uma alternativa locacional com o programa Infraworks. Assim, a hipótese inicialmente levantada, relativa à possível superioridade qualitativa de análises em BIM não pôde ser comprovada pela utilização do Infraworks. A mesma não pode, todavia, ser também totalmente refutada, visto que os materiais e métodos empregados por esta pesquisa fizeram uso de sistemas BIM advindos de um único fornecedor *(*Autodesk*),* para um único estudo de caso.

Na TABELA 16 estão os resultados da comparação entre os critérios de restrições socioambientais analisados no estudo de caso, demonstrando quais podem ser otimizados pelo algoritmo de cada ferramenta testada.

TABELA 16 - COMPARATIVO DE OTIMIZAÇÕES COM BIM E SIG

CRITÉRIOS de RESTRIÇÕES SOCIOAMBIENTAIS	Passível de otimização com SIG (ArcMap)?	Passível de otimização com BIM (Infraworks 360)?
Área total de supressão de vegetação nativa	Sim	Sim
Interferência em vegetação nativa	Sim	Sim
Interferência sobre corredores ecológicos	Sim	Sim
Interceptação e/ou proximidade de Unidades de Conservação	Sim	Sim
Interceptação de Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade	Sim	Sim
Interferência em Áreas de Preservação Permanente	Sim	Sim
Transposição de cursos hídricos	Sim	Sim
Transposição de áreas de várzeas/baixadas	Sim	Sim
Extensão do empreendimento	Não	Sim
Volume de material movimentado (terraplenagem) e escavação/desmonte de rochas;	Não	Sim
Extensão total de aterros	Não	Não
Extensão total de túneis/viadutos/elevados	Não	Sim
Interferência em áreas cársticas e ou com ocorrência de cavidades naturais	Sim	Sim
Interferência em áreas de instabilidade geológico-geotécnicas	Sim	Sim
Extensão de interceptação de áreas urbanas	Sim	Sim
Quantitativo de realocação de população	Sim	Sim
Interceptação de terras indígenas, projetos de assentamento, comunidades quilombolas e tradicionais	Sim	Sim
Interferência no patrimônio artístico e cultural	Sim	Sim
Interferência sobre áreas de uso comum utilizadas por comunidades tradicionais e extrativistas	Sim	Sim
Custo financeiro total das obras	Não	Sim

Fonte: A Autora (2020)

Conforme representado na TABELA 16, a ferramenta de otimização presente no *software* BIM utilizado permite a consideração de maior variedade de parâmetros do que se pode analisar pelas camadas de dados geoespaciais utilizadas em SIG. Essa capacidade tem sua funcionalidade reduzida, porém, devido à limitação no número de camadas que se analisa simultaneamente.

Enquanto com SIG todas as entradas de dados foram otimizadas em uma única superfície, o *software* BIM utilizado não pôde processar mais de 4 camadas em uma mesma análise.

Este fato implica em impossibilidade de processamento de todas as camadas de dados, uma vez que o algoritmo de otimização do *software* não permite fazer a análise por partes.

Não havendo possibilidade de se processar todas as camadas de dados necessárias, percebe-se que embora haja potencial na ferramenta, para os usos propostos neste trabalho a mesma não foi adequada.

Com relação ao fluxo de trabalho empregado e às condições de análise dos impactos gerados pelas alternativas projetadas, notou-se que os critérios de camadas adicionadas às ferramentas de análise não são os mesmos dos aspectos ambientais considerados na AIA tradicional. Portanto, a concepção do projeto de alternativas não gera resultados diretos de impactos, tal como uma avaliação tradicional geraria, mas sim um valor normalizado, relativo aos pesos socioambientais considerados.

Sobre a instituição de pesos de importância relativa aos critérios ambientais considerados na otimização e na análise multicritério, se faz importante a ressalva de que não há metodologia existente que preconize um padrão para adoção de tais valores.

A determinação destes pesos modifica inteiramente a análise, sendo extremamente subjetiva e implicando inclusive em questões éticas, relativas à legitimidade de determinação de importâncias diversas para os atributos analisados.

Este fato, contudo, não desqualifica o trabalho de Avaliação de Alternativas de Traçado de uma rodovia, desde que seja realizado por equipe interdisciplinar e de especialistas. Evitando, desta forma tendências não adequadas.

Com relação aos fluxos de trabalho empregados em relação aos resultados obtidos, percebe-se que embora a alternativa gerada em CAD paramétrico tenha se mostrado mais apta pela análise multicritério, a alternativa gerada em SIG possui potencial de englobar mais camadas de análise do que se pode analisar simultaneamente, por um operador humano.

Ainda, ressalta-se que o tempo de análise é consideravelmente reduzido quando se comparados os fluxos de trabalho, tal como apresentado na TABELA 17.

TABELA 17 - COMPARATIVO DE FLUXOS DE TRABALHO

	SIG	BIM	CAD
Camadas analisadas	19 camadas, incluindo restrições de inclinação.	Com 5 camadas já não produz resultados na otimização, mais parametrização de velocidade diretriz e inclinações de terraplenagem.	12 camadas
Métodos de AIA utilizados	*Checklist* e Superposição de cartas	*Checklist*, Superposição de Cartas e Redes de interação	*Checklist* e Superposição de cartas
Processamento	Local	Em nuvem	Local
Otimização	Local	Em nuvem	Inexistente
Extensão do traçado gerado	7,28 km	Não gerou traçado.	6,88 km
Tempo de tratamento de dados	2 meses	2 meses	2 meses
Programa computacional utilizado para tratamento dos dados	ArcGIS	ArcGIS	ArcGIS
Preço do *software* utilizado para tratamento dos dados	R$ 5 mil reais por ano	R$ 5 mil reais por ano	R$ 5 mil reais por ano
Tempo de análise e criação da alternativa	1 semana	1 dia	3 meses
Programa computacional utilizado para criação da alternativa	ArcMap e Autocad CIVIL 3D	Infraworks	Autocad Civil 3D
Preço dos programas utilizados para criação do traçado	ArcGIS R$ 5 mil reais por ano, Autocad CIVIL 3D R$ 4,7 mil reais por ano	R$ 6,3 mil reais por ano	R$ 4,7 mil reais por ano
Acesso	Licença comercial, ferramenta "cost-benefit surface" de código livre	Licença estudantil não comporta análises em nuvem desde 2019	Licença estudantil
Resultados da análise multicritério por AHP	Adequação de 27,3%	Não analisado, não produziu traçado	Adequação de 48%
Resultados da simulação Monte Carlo por AHP	Melhor adequação em 1% das iterações	Não analisado, não produziu traçado	Melhor adequação em 99% das iterações

Fonte: A Autora (2020)

Com relação ao resultado da análise multicritério, esperava-se que o traçado gerado sobre a superfície ótima de custo-benefício criada em ferramenta SIG se provasse mais apto aos critérios adotados.

A não verificação desta situação possivelmente se deve aos pesos empregados, tanto na análise de custo-benefício quanto na ferramenta multicritério de apoio à decisão. Não havendo um padrão na entrada de dados de cada *software*, diferentes interpretações dos dados passíveis de análise levam a diferentes quantificações de impactos gerados.

Em comparação dos pesos empregados para geração da superfície de custos da Alternativa SIG, e dos pesos empregados na AHP, nota-se que os mesmos não são idênticos, por dois motivos:

1. Nem todos os critérios estabelecidos pelo IBAMA são passíveis de representação geográfica de forma vetorial ou matricial
2. Há maior flexibilização de criação de camadas no SIG, enquanto na análise multicritério empregada somente os critérios selecionados pelo IBAMA foram pesados.

Com relação aos resultados obtidos pelo método da matriz de impactos, percebe-se que ambos os traçados resultaram em matrizes idênticas. Isso se deve ao fato de o método empregado para avaliação se basear em critérios qualitativos cuja sensibilidade não abrangeu as diferenciações apresentadas pelos traçados, pois não somente foram previstos os mesmos impactos valoração, mas também os traçados gerados se encontram geograficamente muito próximos e com características semelhantes.

Assim, embora na análise quantitativa realizada nas fases anteriores tenha havido diferença expressiva entre as alternativas geradas, pela análise qualitativa elaborada pelo método da matriz de avaliação empregada, não se obteve diferenciação entre as alternativas geradas.

Dessa constatação deriva outro ponto que foi observado, referente à diferenciação dos métodos tradicionais de AIA em relação aos métodos de apoio à decisão, passíveis de emprego para determinação da alternativa locacional. Verificou-se que a AIA como tradicionalmente utilizada engloba análise mais profunda dos cenários resultantes do projeto já definido.

Entretanto, em comparação ao método multicritério, a diferenciação das alternativas se apresenta de maneira menos precisa no método de matriz de avaliação, gerando matrizes quase idênticas para os dois traçados, enquanto pelo

método multicritério empregado se obteve variação expressiva na adequabilidade dos mesmos. Ou seja, embora pela aplicação do método tradicional de AIA se consiga melhor detalhamento dos impactos gerados, foi por meio da análise multicritério que se pôde obter a confirmação efetiva de qual traçado representa menor impacto gerado aos meios inseridos.

Assim sendo, não se pode de maneira alguma concluir que a análise de otimização de traçados de rodovia comparativo por métodos de análise multicritério possa substituir as metodologias tradicionais de AIA, mas sim que se faz de extrema importância da aplicação de ambos os métodos, para se determinar o traçado de menor dano e se obter detalhamento preciso dos impactos gerados, possibilitando a implementação de programas de mitigação.

Da listagem de impactos previstos, percebe-se que grande parte dos não são passíveis de representação em formato matricial ou vetorial para inclusão de dados georreferenciados na análise de otimização (tal como ocorreu com os critérios socioambientais elencados pelo IBAMA para o trecho).

Embora se possa determinar uma área de abrangência para a ocorrência de cada impacto, tal representação não corresponde ao elemento em si avaliado, de modo que não se poderia atribuir a mesma classificação de pesos para todas as camadas de dados.

Se constata que no caso de se avaliar apenas áreas de abrangência de cada impacto, na plataforma SIG utilizada se pode gerar uma superfície custo-benefício, porém esta não seria de utilidade para locação do eixo.

Ainda, com relação à impactos positivos, os mesmos não foram considerados na análise do traçado visto que se criou a superfície de restrições ambientais. Embora seja possível a criação de uma superfície apenas com os aspectos positivos, estes são em sua maioria do meio socioeconômico e recaem na questão de serem mapeados por suas áreas de influência.

As informações constantes no QUADRO 12 demonstram os impactos listados e avaliados na matriz elaborada com relação à possibilidade de inclusão na otimização de superfície elaborada em plataforma SIG.

QUADRO 12 - IMPACTOS AMBIENTAIS PASSÍVEIS DE OTIMIZAÇÃO

(continua)

Impactos ambientais	Passível de otimização de superfície SIG?[4]	Natureza
Geração de renda e emprego	Apenas por área de influência	Benéfico
Expectativa de desenvolvimento regional	Apenas por área de influência	Benéfico
Especulação imobiliária	Não	Adverso
Geração de conflitos de uso e ocupação do solo	Sim	Adverso
Pressão sobre patrimônio natural e cultural	Sim	Adverso
Contribuição científica pela caracterização espeleológica	Apenas por área de influência	Benéfico
Perspectiva de desenvolvimento regional	Apenas por área de influência	Benéfico
Melhoria de infraestrutura	Apenas por área de influência	Benéfico
Tensão social	Não	Adverso
Riscos de acidentes devido ao aumento do fluxo de tráfego	Não	Adverso
Potencial degradação das áreas de intervenção	Sim	Adverso
Parcelamento do solo e alteração da modalidade de uso	Sim	Adverso
Tensão social	Não	Adverso
Deslocamento de população	Sim	Adverso
Perdas de áreas produtivas e realocamento de infraestrutura	Sim	Adverso
Geração de renda e emprego	Apenas por área de influência	Benéfico
Geração de impostos e tributos	Apenas por área de influência	Benéfico
Incremento de estrutura produtiva e estrutura de serviços	Apenas por área de influência	Benéfico
Potencial de atração de imigrantes	Não	Adverso

Fonte: A Autora (2020)

[4] Por meio de dados secundários disponíveis em fase de estudos ambientais preliminares ao projeto executivo.

QUADRO 12 - IMPACTOS AMBIENTAIS PASSÍVEIS DE OTIMIZAÇÃO

(continuação)

Impactos ambientais	Passível de otimização de superfície SIG?[5]	Natureza
Aumento dos riscos de doenças socialmente transmissíveis	Não	Adverso
Aumento da demanda de infraestrutura urbana	Apenas por área de influência	Adverso
Alteração de hábitos e costumes	Não	Adverso
Disposição de efluentes do solo	Apenas por área de influência	Adverso
Contaminação de águas superficiais e subterrâneas	Apenas por área de influência	Adverso
Remoção da cobertura vegetal	Sim	Adverso
Conflito de uso do solo	Sim	Adverso
Alterações de habitats e da paisagem	Sim	Adverso
Ruídos e vibrações	Apenas por área de influência	Adverso
Alteração do perfil das encostas	Sim	Adverso
Aumento de carga sólida e redução da disponibilidade hídrica	Não	Adverso
Modificação na forma de ocupação do solo	Sim	Adverso
Emissão de gases e material particulado	Apenas por área de influência	Adverso
Interferência em região cárstica	Sim	Adverso
Degradação dos solos e riscos de erosão	Sim	Adverso
Poluição hídrica e degradação dos ecossistemas aquáticos	Apenas por área de influência	Adverso
Degradação da vegetação	Sim	Adverso
Alteração do microclima	Apenas por área de influência	Adverso
Alteração no "*run-off*"	Sim	Adverso
Degradação da vegetação, da paisagem e do patrimônio natural e cultural	Sim	Adverso
Degradação de vegetação ciliar	Sim	Adverso

Fonte: A Autora (2020)

[5] Por meio de dados secundários disponíveis em fase de estudos ambientais preliminares ao projeto executivo.

QUADRO 12 - IMPACTOS AMBIENTAIS PASSÍVEIS DE OTIMIZAÇÃO

(conclusão)

Impactos ambientais	Passível de otimização de superfície SIG?[6]	Natureza
Alteração da modalidade de uso do solo	Sim	Adverso
Emissão de gases particulados	Apenas por área de influência	Adverso
Aumento de pressão sonora	Apenas por área de influência	Adverso
Riscos de acidentes devido ao aumento do fluxo de tráfego	Não	Adverso
Geração de impostos e tributos	Apenas por área de influência	Benéfico
Fomento da estrutura produtiva e de serviços	Apenas por área de influência	Benéfico
Melhoria do fluxo de circulação de mercadorias e produtos	Apenas por área de influência	Benéfico
Indução do crescimento econômico	Apenas por área de influência	Benéfico
Potencialização do Turismo Ecológico	Apenas por área de influência	Benéfico
Melhoria do nível de vida	Não	Benéfico
Acompanhamento e controle de erosão e reabilitação de áreas degradadas	Não	Benéfico
Proteção e limpeza da faixa de domínio	Não	Benéfico
Campanhas de educação ambiental e de trânsito	Não	Benéfico
Proteção da sinalização de segurança	Não	Benéfico

Fonte: A Autora (2020)

Em uma análise comparativa do QUADRO 12 acima apresentado, com os critérios socioambientais que foram utilizados para geração das alternativas locacionais percebe-se que pela aplicação do método de AIA foi possível a inferência de uma maior quantidade de critérios passíveis de otimização (22) do que as camadas que foram consideradas na geração dos traçados (15 critérios - TABELA 16).

[6] Por meio de dados secundários disponíveis em fase de estudos ambientais preliminares ao projeto executivo.

Este fato demonstra maior detalhamento de análise do método tradicional de *checklist* em relação à listagem apresentada pelo órgão ambiental, a qual foi utilizada neste estudo de caso por ter sido elaborada especificamente para o subtrecho estudado.

Em um comparativo dos critérios utilizados com os impactos previstos, percebe-se que embora os impactos sejam mais detalhados, as camadas de dados inseridas para criação da superfície servem ao propósito de minimizar os impactos adversos previstos, tal como exposto no QUADRO 13.

QUADRO 13 - IMPACTOS AMBIENTAIS MINIMIZADOS PELA OTIMIZAÇÃO DE CRITÉRIOS RESTRITIVOS SOCIOAMBIENTAIS

(continua)

CRITÉRIOS DE RESTRIÇÕES SOCIOAMBIENTAIS	**IMPACTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS**
Área total de supressão de vegetação nativa	Remoção da cobertura vegetal
	Potencial degradação das áreas de intervenção
	Alteração no "*run-off*"
Interferência em vegetação nativa	Degradação da vegetação
	Alterações de habitats e da paisagem
Interferência sobre corredores ecológicos	Potencial degradação das áreas de intervenção
	Alterações de habitats e da paisagem
Interceptação e/ou proximidade de Unidades de Conservação	Alterações de habitats e da paisagem
Interceptação de Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade	Degradação da vegetação, da paisagem e do patrimônio natural e cultural
Interferência em Áreas de Preservação Permanente	Degradação de vegetação ciliar
Transposição de cursos hídricos	Degradação de vegetação ciliar
Transposição de áreas de várzeas/baixadas	Alterações de habitats e da paisagem
Interferência em áreas cársticas e ou com ocorrência de cavidades naturais	Interferência em região cárstica

Fonte: A Autora (2020)

QUADRO 13- IMPACTOS AMBIENTAIS MINIMIZADOS PELA OTIMIZAÇÃO DE CRITÉRIOS RESTRITIVOS SOCIOAMBIENTAIS

(conclusão)

CRITÉRIOS DE RESTRIÇÕES SOCIOAMBIENTAIS	IMPACTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS
Interferência em áreas de instabilidade geológico-geotécnicas	Degradação dos solos e riscos de erosão
	Alteração do perfil das encostas
	Alteração no "run-off"
Extensão de interceptação de áreas urbanas	Geração de conflitos de uso e ocupação do solo
	Modificação na forma de ocupação do solo
	Alteração da modalidade de uso do solo
	Parcelamento do solo e alteração da modalidade de uso
Quantitativo de realocação de população	Deslocamento de população
	Geração de conflitos de uso e ocupação do solo
Interceptação de terras indígenas, projetos de assentamento, comunidades quilombolas e tradicionais	Geração de conflitos de uso e ocupação do solo
Interferência no patrimônio artístico e cultural	Degradação da vegetação, da paisagem e do patrimônio natural e cultural
	Pressão sobre patrimônio natural e cultural
Interferência sobre áreas de uso comum utilizadas por comunidades tradicionais e extrativistas	Perdas de áreas produtivas e realocamento de infraestrutura

Fonte: A Autora (2020)

Desse modo, percebe-se a eficácia da aplicação da otimização de superfície em plataforma SIG para a geração do traçado, de forma a minimizar os impactos decorrentes e sua implantação.

Desta forma, para segmentos que não apresentem listagem previamente definida critérios de restrições socioambientais, pode ser empregada a listagem de apresentada na TABELA 16, dos impactos passíveis de obtenção de dados vetoriais ou matriciais para otimização em plataforma SIG.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com relação aos objetivos estabelecidos nesta pesquisa, realizou-se a aplicação de tecnologias BIM e SIG na Avaliação de Impacto Ambiental em estudo de traçado rodoviário, por meio de estudo de caso de subtrecho da BR-135/BA. O fluxo de trabalho para geração de alternativas locacionais em programas paramétricos foi testado resultando em insuficiência da capacidade de processamento do sistema de modelagem BIM empregado, porém gerando resultados com os sistemas SIG e CAD paramétrico.

Verificou-se que a utilização de metodologia com modelagem BIM para estudo de alternativas locacionais considerando-se fatores ambientais necessita ainda de maior desenvolvimento, em se tratando do *software* utilizado (Autodesk Infraworks 360). Percebe-se que a capacidade processual de SIG é mais ampla, podendo analisar quantidade maior de camadas de dados, porém não suporta componentes paramétricos, sendo necessária a interoperabilidade de dados entre sistemas para finalização da concepção do projeto.

Ainda, é importante ressaltar que a criação da superfície de custos ambientais depende inteiramente dos critérios de entrada de dados e dos pesos adotados, de modo que mesmo se utilizando otimizações de dados a avaliação dos impactos não deixa de ser subjetiva, dependendo do crivo do analista responsável. Embora as tecnologias apresentem grande potencial analítico, as mesmas servem exclusivamente ao propósito de ferramentas, sendo necessário conhecimento técnico do operador para que a análise gerada seja coerente com o esperado.

Ressalta-se que para o segmento utilizado no estudo de caso já haviam sido definidos pelo órgão ambiental as variáveis ambientais a serem analisadas na fase de estudo de traçado rodoviário. Mas, a avaliação de quais variáveis devem ser consideradas na otimização, bem como quais os pesos a serem adotados, sendo parte essencial da otimização de traçado.

Outra consideração importante refere-se à qualidade dos dados inseridos no programa de otimização. Sendo uma fase anterior à aprovação do projeto, a fase de estudo locacional trabalha predominantemente com dados secundários. Assim, a procedência, escala e precisão dos dados disponíveis afeta consideravelmente a qualidade do resultado obtido. Para o estudo de caso realizado, foram encontradas

diversas fontes de dados oficiais da região, porém em regiões menos documentadas o método pode se mostrar inviável sem que sejam coletados dados primários.

Conforme apresentado no tópico de discussões, observa-se que outra conclusão importante deste trabalho se refere à necessidade de aplicação de mais um método de avaliação de impacto ambiental na determinação do traçado rodoviário, visto que a aplicação conjunta de metodologias e tecnologias com diferentes focos aumenta a densidade da análise e melhora seus resultados. A aplicação de otimização de dados com análise multicritério resulta na determinação do traçado de menor impacto enquanto a aplicação de método tradicional de AIA como matriz de avaliação de impactos permite a determinação dos impactos a serem monitorados e mitigados, englobando as ações necessárias à redução dos danos causados pelo empreendimento.

Com relação às tecnologias testadas, percebe-se que mesmo sem a utilização de modelagem paramétrica em BIM, a qual não apresentou capacidade de processamento suficiente, a otimização de superfície em plataformas SIG permite entradas de dados com ajuste de pesos, tecnologia que se mostrou mais apta à otimização.

Devido à subjetividade da escolha dos pesos aplicados às variáveis ambientais, seria de grande utilidade a existência de um método tal qual a matriz de AIA para determinação dos pesos e geração de alternativas otimizadas.

Logo, se faria possível a compatibilização dos aspectos geradores de impactos com os critérios de entrada de dados nos sistemas de elaboração de projeto, a fim de adiantar a AIA para a etapa de concepção.

Desse modo, como recomendação para estudos futuros, a fim de viabilizar a utilização de modelagem de otimização, se faz importante a criação de uma metodologia para determinação dos pesos a serem empregados às variáveis ambientais na análise multicritério que inclua em suas análises a questão da legitimidade da atribuição de importâncias com pesos relativos para camadas de dados que representem elementos dos meios físico, biótico e socioeconômico.

Estes, no entanto, adequados a cada projeto rodoviário, atendendo suas peculiaridades e necessidades. Usualmente, cada trecho é um e único desafio.

Também como recomendação para estudos futuros é interessante ressaltar que este estudo aplicou ferramentas BIM de um único desenvolvedor (Autodesk),

sendo interessante a comparação com o potencial de análise de programas de otimização BIM de outros desenvolvedores.

Como conclusão final, percebe-se por meio deste trabalho a existência de potencial para o desenvolvimento de metodologias de implementação de tecnologias de dados georreferenciados e otimização de traçados rodoviários já existentes no mercado, com a finalidade de avaliação de impacto ambiental. Porém, em função das limitações de processamento atualmente disponíveis e, sobretudo, em função da grande subjetividade envolvida no processo de avaliação de impactos ambientais, se mantém essencial o conhecimento da área em estudo, bem como o crivo e avaliação do analista e utilizador do programa computacional de auxílio à análise.

REFERÊNCIAS

AEC ASSOCIATES. **Building Information Modeling – Implementation and usage**. Disponível em: <https://www.theaecassociates.com/>. Acesso em: 02 dez. 2019.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE). **The Business Value of BIM for Infrastructure Addressing America's Infrastructure Challenges with Collaboration and Technology**. SmartMarket Report, McGraw-Hill Construction, 2012.

ANA. 2010. **Base cartográfica de rede hidrometeorológica e corpos hídricos superficiais**. Brasília, Disponível em: https://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/8014bf6e92144a9b871bb4136390f732_0

ANA, 2013. **Base cartográfica de corpos hídricos superficiais e ottobacias**. Brasília, 2013. Disponível em: https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/metadata.show?id=307

ANA 2010. Agência Nacional de Águas (ANA); Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil Informe 2010**. Brasília – DF, 2010.

ANA 2013 Agência Nacional de Águas (ANA); Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2013.** Brasília – DF, 2013.

ANA 2018 Agência Nacional de Águas (ANA); Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília – DF, 2018.

ANDRADE, M.; RUSCHEL, R. **BIM: Conceitos, cenário das pesquisas publicadas no Brasil e tendências.** Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído IX Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios 2009, São Carlos, SP.

ANTAQ, 2015. **Base cartográfica de infraestrutura rodoviária, ferroviária, hidroviária e portuária brasileira**. Brasília. Disponível em: http://web.antaq.gov.br/portalv3/PNIH.asp

ARNOLD, U.; YILDIZ, O. **Economic risk analysis of decentralized renewable energy infrastructures – A Monte Carlo Simulation approach**. Elsevier, Renewable Energy Volume 77, May 2015, Pages 227-239.

AUTODESK. **BIM for Infrastructure: A vehicle for business transformation**. 2012.

AUTODESK. **Building Information Modeling. Autodesk Building Industry Solutions White Paper**. 2002.

BANCO DE DADOS GEOGRÁFICO SO EXÉRCITO (BDGEX). 2018. Disponível em:< https://bdgex.eb.mil.br/mediador/>. Acesso em: 02. dez. 2019.

BARBOZA, P. D. **Análise de decisão multicritério aplicada na seleção de investimento em armazenagem de soja em grão. Orientador: Dr. José Geraldo**

Vidal Vieira. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em:< https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3148/tde-09072014-112533/publico/Diss_PATRICIADIASBARBOZA.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2019.

BDGEx, 2014. **Base cartográfica do banco de dados geográficos do exército brasileiro**. Brasília, 2014. BDGEx. Disponível em: https://bdgex.eb.mil.br/mediador/

BDGEx, 2018. **Base cartográfica do banco de dados geográficos do exército brasileiro. Relevo e Vegetação**. Brasília, 2018. Disponível em: https://bdgex.eb.mil.br/mediador/

BORGES, K. A. V. **Modelagem de Dados Geográficos**. MG: UFMG, 2002. Disponível em: http://www.csr.ufmg.br/geoprocessamento/publicacoes/Modelagem%20de%20dados%20geografico.PDF

BOTELHO, Márcio A. **Incorporação de facilidades espaço-temporais em banco de dados orientados a objetos**. Campinas, SP: UNICAMP, 1995. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/276041/1/Botelho_MarciodeAraujo_M.pdf

BRASIL. **LEI Nº 6.938, DE 31 DE AGOSTO DE 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. DF, 31 de agosto de 1981. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm>. Acesso em: 02 dez. 2019.

BURROUGH, P. A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment.** Oxford, Clarendon, 1990.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Pesquisa Anual da Indústria da Construção.** Disponível em< http://www.cbicdados.com.br/menu/home/pesquisa-anual-da-industria-da-construcao-2012>. Acesso em: 02 dez. 2019.

CÂMARA, G.; FREITAS, U. M. **Perspectivas em Sistemas de Informação Geográfica**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; MEDEIROS, J. S. **Fundamentos Epistemológicos Da Ciência Da Geoinformação**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap5-epistemologia.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2016.

CAMARGO, R. F. **Desmistificando a Análise de Monte Carlo em gestão de riscos. 2019**. Disponível em: <http://www.glicfas.com.br/analise-de-monte-carlo/l>. Acesso em: 02 dez. 2019.

CANIE, 2018. **Base cartográfica do cadastro nacional de informações espeleológicas.** Brasília, 2018. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cecav/canie.html

COELHO, S.; NOVAES, C. **Modelagem de Informações para Construção (BIM) e ambientes colaborativos para gestão de projetos na construção civil**. Workshop Nacional de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios, 8., 2008, São Paulo.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. DF, Brasília, 23 de janeiro de 1986. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_1986_001.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2019.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 347, de 10 de setembro de 2004**. Dispõe sobre o patrimônio espeleológico. Brasília, 2004. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cecav/images/stories/downloads/Legislacao/Res_CONAMA_347_2004.pdf. Acesso em: 26 mar. 2019.

COSTA, H. G. **Introdução ao Método de Análise Hierárquica**. Niteroi, 2012. Disponível em: <http://docplayer.com.br/37487329-Introducao-ao-metodo-de-analise-hierarquica.html>. Acesso em: 02 dez. 2019.

CNSA, 2018. **Base cartográfica do cadastro nacional de sítios arqueológicos georreferenciados**. Brasília, 2018. Disponível em: http://portal.iphan.gov.br/cna/pagina/detalhes/1227

CNSA, 2019. **Base cartográfica do cadastro nacional de sítios arqueológicos georreferenciados**. Brasília, 2019. Disponível em: http://portal.iphan.gov.br/cna/pagina/detalhes/1227

CPRM. **Base cartográfica de unidades litoestratigráficas**. Brasília, 2003. Disponível em: http://geosgb.cprm.gov.br/

CPRM. **Base cartográfica de litologia**. Brasília, 2018. Disponível em: http://geosgb.cprm.gov.br/

CREMONEZ, F. E. et al. **Avaliação de Impacto Ambiental: Metodologias aplicadas no Brasil.** Revista Monografias Ambientais (REMOA). Santa Maria, v. 13, n. 5, p. 3821-3830, 2014.

DAVIS, C.; NETO, G. C. **Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Ministério da Ciência e Tecnologia, São José dos Campos, 2001.

DER, 2000. BRASIL **Lei nº9.985, de 18 de julho de 2000.** Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em:< http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm>. Acesso em: 02. dez. 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RONDAGEM (DNER). **Manual de Pavimentação.** Rio de Janeiro, IPR – 179, 1996.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Base cartográfica do sistema nacional de viação**. Brasília, 2015. Disponível em: http://servicos.dnit.gov.br/vgeo/

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários – Escopos Básicos e Instruções de Serviço**. Rio de Janeiro, IPR – 726, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de Implantação Básica de Rodovia**. Rio de Janeiro, IPR – 742, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais.** Rio de Janeiro, 1999.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **SNV 2015**. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/sistema-nacional-de-viacao/snv-2014-1>

DIRETORIA DE PLANEJAMENTO (DPP) E PESQUISA COORDENAÇÃO GERAL DE DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS (CGDESP), DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Guia de Análise de Projetos Rodoviários**. [S.l.] 2018.

DUTRA A.; LIMA, M. V. A.; LOPES, A. L. M.; SERRA, F. R. **O Uso da Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão Construtivista - MCDA-C para a Incorporação da Dimensão Integrativa nos Processos de Avaliação de Desempenho Organizacional.** Encontro de Administração da Informação, Florianópolis, 2007. Disponível em:<http://www.anpad.org.br/admin/pdf/enadi449.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2019.

EASTMAN, C. M.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors.** 2. ed. Hoboken: Wiley, 2008.

FERREIRA, B. **Revisão de Literatura e Análise em Planejamento de Transportes Usando os Sistemas de Informações Geográficas**. Trabalho de Graduação (Engenharia Civil) Departamento de Engenharia Elétrica e de Produção, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2006.

FERREIRA, R. M. P.; FARIA, S. D. **Aplicação de Sistemas de Informações Geográficas na Gestão da Informação e no Planejamento de Sistema Rodoviário**. IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, PE, 2012.

Fundação Nacional do Índio (FUNAI). **Base cartográfica de terras indígenas brasileiras**. Brasília, 2019. Disponível em: http://www.funai.gov.br/index.php/shape

GRANADEIRO, M. **BIM nas Rodovias: Redução de Custos.** 2016. Disponível em: <http://construtivo.com/blog/bim-nas-rodovias-reducao-de-custos/>.

HOWELL, I.; BATCHELER, B. **Building Information Modeling Two Years Later – Huge Potential, Some Success and Several Limitations**. 2005

IBRAHIM, M.; KRAWCZYK, R. **The Level of Knowledge of CAD Objects within the Building Information Model.** Illinois Institute of Tecnology, 2003

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Área de Geociência**. 2015. Disponível em:< https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: 02. dez. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Base cartográfica integrada do Brasil na escala duzentos e cinquenta mil digital.** Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Base cartográfica de biomas brasileiros.** Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Base cartográfica de geologia, litologia, geomorfologia e hidrogeomorfologia**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Projeto RADAMBRASIL v. 29**. Rio de Janeiro, 1986. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=214552>. Acesso em: 02 dez. 2019.

INSTITUTO BRASILERO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Base cartográfica de parques nacionais**. Brasília, 2016. Disponível em: http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm

INSTITUTO BRASILERO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Termo de Referência SEI/IBAMA 352218.** Brasília, DF, 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). **Base cartográfica de acervo fundiário**. Brasília, 2019. Disponível em: http://certificacao.incra.gov.br/csv_shp/export_shp.py

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL (IPHAN). **Base cartográfica dos sítios arqueológicos georreferenciados.** Brasília, 2019. Disponível em: http://portal.iphan.gov.br/cna/pagina/detalhes/1227.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TRANSPORTES E INFRAESTRUTURA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (ITTI/UFPR). **Estudo De Impacto Ambiental DA BR-135 BA Município De São Desidério**. Não publicado.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TRANSPORTES E INFRAESTRUTURA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (ITTI/UFPR). **Estudo Geológico de Área Cárstica e Proposta de Alternativa Locacional no Lote 5 Da Br-135/BA (Cocos – Div. BA/MG).** Curitiba, 2014

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TRANSPORTES E INFRAESTRUTURA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (ITTI/UFPR). **Estudos Geológicos, Geofísicos e Geomorfológicos - Rodovia BR-135/MG – Subtrecho entre Manga e Itacarambi (km 88,7 ao km 139,2).** Curitiba, 2014.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TRANSPORTES E INFRAESTRUTURA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (ITTI/UFPR). **Inventário Florestal Rodovia BR-135/BA.** Curitiba, 2014.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TRANSPORTES E INFRAESTRUTURA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (ITTI/UFPR). **Prospecção e Caracterização do Patrimônio Espeleológico da Área de Influência Direta da Implantação da BR-135/BA: São Desidério/BA (Km 207,0) a Correntina/BA (Km 344,7).** Curitiba, 2015.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TRANSPORTES E INFRAESTRUTURA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (ITTI/UFPR). **Relatório de Análise Geotécnica.** Curitiba, 2014.

JACOSKI, C., LAMBERTS, R. **A interoperabilidade como fator de integração de projetos na construção civil**. 2003.

JAYASENA, H. S.; WEDDIKKARA, C. **Assessing the BIM Maturity in a BIM Infant Industry.** Segundo Simpósio Mundial de Construção: Sustentabilidade socio-econômica na construção, 2013.

KUMAR, A., SAH, B., SINGH, A.R., DENG, Y., HE, X., KUMAR, P. AND BANSAL, R.C., 2017. **A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy developmen**t. Renewable and Sustainable Energy Reviews,69, pp.596-609.

LEE, S. H. **Introdução ao Projeto Geométrico de Rodovias**. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 2013.

LOPES, J. A. U.; QUEIROZ, S. M. P.; REIS, L. F. S. S. D. **Gestão Ambiental de Empreendimentos**. Rio de Janeiro, 2012.

MANUAL DE AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS (MAIA). SEMA/IAP – PIAB, Curitiba, 1999

MAPBIOMAS. **Coleção de imagens georreferenciadas e classificadas pelo uso e ocupação do solo para diferentes anos**. Brasília, 2018. Disponível em: https://mapbiomas.org/dados-de-infraestrutura?cama_set_language=pt-BR

MARTINS, C. S.; SOUZA, D. O.; BARROS, M. S. **O Uso do Método de Análise Hierárquica (AHP) na Tomada de Decisões Gerenciais – Um Estudo de Caso.** XLI SBPO - Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento, 2009.

MASOTTI, L. F. C. **Análise da Implementação e do Impacto do BIM no Brasil.** Trabalho de Graduação (Engenharia Civil) Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2014.

MORAES, C. D.; D'AQUINO, C. A. **Avaliação de Impacto Ambiental: Uma Revisão da Literatura Sobre As Principais Metodologias**. Araranguá, Simpósio de Integração Científica e Tecnológica Do Sul Catarinense, 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA); MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO (MEC). **Programa Nacional de Educação Ambiental (PRONEA).** Brasília, 2003.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Base cartográfica de fitofisionomias do Brasil.** Brasília, 2006. Disponível em: http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Base cartográfica de mata atlântica**. Brasília, 2008. Disponível em: http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Base cartográfica de corredores ecológicos do Brasil.** Brasília, 2009. Disponível em: http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Base cartográfica de áreas prioritárias para a conservação biodiversidade, cadastro ambiental rural e unidades de conservação.** Brasília, 2018. Disponível em: http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm

NEUENFELDT JÚNIOR, A. L.; MACHADO, C. M.; SILUK, J. C. M.; SOLIMAN, M. ; HUPFER, N. T.; PARIS, S. R. **Comparativo entre as metodologias MCDA-C, DEA e AHP.** FAE, Curitiba, 2015.

PIMENTA, A. F. F.; RATTON, E.; BLASI, G. F.; SOBANSKI, M. B.; ALBACH, D. M. **Gestão para o licenciamento ambiental de obras rodoviárias.** Departamento de Transportes da Unidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

PIMENTEL, G; PIRES, S. H. **Metodologias de avaliação de impacto ambiental: aplicações e seus limites.** Revista de Administração Pública, v. 26, n. 1, p. 56-68, 1992.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO DESIDÉRIO (BA). **Lei municipal n°13, de 20 de novembro de 2006. São Desidério, 2005**. Disponível em: http://portaldatransparencia.saodesiderio.ba.gov.br/

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO DESIDÉRIO (BA). **Decreto municipal n°07, de 11 de janeiro de 2005. São Desidério, 2006**. TOPOGEO. Arquivo georreferenciado

dos limites do Parque da Lagoa Azul. Bahia, 2020. Disponível em: http://portaldatransparencia.saodesiderio.ba.gov.br/

PROJETO RADAM (CPRM/SGB). **Base cartográfica de fitofisionomias**. Brasília, 2003. Disponível em: https://visualizador.inde.gov.br/

RADÜNS, C D. **BIM aplicado a obras de infraestrutura (BiiM): mini e pequenas centrais hidrelétricas.** Orientador: Zacarias Martin Chamberlain Pravia .119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharias) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2013.

ROZADOS, H, B, F. **O uso da técnica Delphi como alternativa metodológica para a área da Ciência da Informação**. Em Questão, Porto Alegre, v. 21, n. 3, p. 64-86, set/dez. 2015. Disponível em< https://seer.ufrgs.br/EmQuestao/article/viewFile/58422/36043>. Acesso em 19 ago. 2020

RUBINSTEIN, R.Y. AND KROESE, D.P., 2016**. Simulation and the Monte Carlo method** (Vol. 10). John Wiley & Sons.

SÁNCHEZ, A. X.; KRAATZ, J. A.; HAMPSON, K. D.; LOGANATHAN, S. **BIM for Sustainable Whole-of-life Transport Infrastructure Asset Management**. Sustainability in Public Works Conference, 2014

SAATY, T. L. **Decision making with the analytic hierarchy process.** International Journal of Services Sciences, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.
SOUZA FILHO, J. C.; LÓPEZ-CASTILLO, A. **Simulação do Equilíbrio: O Método De Monte Carlo.** Departamento de Química, Centro Universitário FIEO (UNIFIEO), Osasco - SP, Brasil, 2007. Disponível em: <http://submission.quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2007/vol30n7/44-ED06212.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2019.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ESPELEOLOGIA (SBE). **Base de dados georreferenciado de cavidades.** Campinas, 2019. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cecav/canie.html

STEINEMANN, A. **Improving alternatives for environmental impact assessment.** Environmental Impact Assessment Review, City Planning Program, Georgia Institute of Technology, USA 2001.

WATHERN, Pete. **Introductory guide to EIA**. Environmental Impact Assessment: Theory and Practice Unwin Hyman, 1988.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE (WWF). 2019. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/>. Acesso em: 13 dez. 2019.

XAVIER, C.G. **MCDA - Análise de Decisão Multicritério Como Ferramenta de Avaliação de Instalações Portuárias: O Caso dos Terminais de Contêineres Brasileiros.** Orientador: Dr. Paulo Roberto de Mendonça Motta. Dissertação (mestrado) – Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em:<

https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/11228/Carlos_Xavier_Dissertacao_EBAPE_MIM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 02 dez. 2019.

YAN, Han; DAMIAN, Peter: **Benefits and Barriers of Building Information Modelling.** Décima segunda conferência de computação aplicada à engenharia civil, Beijing, 2008.

ANEXO I

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE LICENCIAMENTO AMBIENTAL
COORDENAÇÃO-GERAL DE LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE EMPREENDIMENTOS LINEARES TERRESTRES
COORDENAÇÃO DE LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE TRANSPORTES
SCEN Trecho 2 - Ed. Sede do IBAMA - Bloco B - Sub-Solo, Brasília/DF, CEP 70818-900

Ofício nº 514/2018/COTRA/CGLIN/DILIC-IBAMA

Ao Senhor
RODRIGO PARANHOS FALEIRO
Diretoria de Promoção ao Desenvolvimento Sustentável - DPDS
FUNAI - FUNDAÇÃO NACIONAL DO ÍNDIO
Setor Bancário Sul Q. 2 - Asa Sul, Ed. Cleto Meireles
CEP : 70070-120, Brasília/DF.

Ao Senhor
MARCELO MARCELINO DE OLIVEIRA
Diretoria de Pesquisa, Avaliação e Monitoramento da Biodiversidade, do Instituto Chico Mendes da Biodiversidade - ICMBio,
EQSW 103/104, Bloco "D", 1º andar, Complexo Administrativo, Sudoeste
CEP: 70.670-350, Brasília/ DF.

Ao Senhor
ERIVALDO OLIVEIRA DA SILVA
PRESIDÊNCIA DA FUNDAÇÃO CULTURAL PALMARES,
Quadra 601 Norte – SGAN – Lote L, Ed. ATP
CEP: 70830-010. Brasília/DF.

À Senhora,
KÁTIA BOGÉA
PRESIDENTE
INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL – IPHAN
SEPS Quadra 713/913 Sul Bloco "D" - Ed. Lúcio Costa – 3º andar
CEP: 70.390-135 – Brasília/DF

Ao Senhor,
OSNEI OKUMOTO
SECRETARIA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE - Ministério da Saúde.
SCS Quadra 04, bloco A, Edifício Principal, 4 andar., Asa Sul
CEP: 70304-000 – Brasília/DF

Ao Senhor,
JOSÉ GERAL DOS REIS SANTOS
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DA BAHIA - SEMA/BA
3ª Avenida, nº 390, Plataforma IV, Ala Norte, CAB
CEP 41.745-005 - Salvador/BA

Assunto: **Termo de Referência BR 135/BA - Trecho km 207 - 212 (trecho composto por áreas cársticas)**

Referência: Caso responda este Ofício, indicar expressamente o Processo nº 02001.005969/2005-13

10. ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS E LOCACIONAIS

180. Com base no diagnóstico e avaliação de impactos realizados, deverão ser apresentadas propostas de alternativas locacionais e tecnológicas, visando a minimização dos impactos ambientais, sobretudo nas áreas sensíveis identificadas (Áreas de Preservação Permanente, várzeas e baixadas, áreas urbanas, comunidades locais, Unidades de Conservação, cavidades naturais entre outros).

10.1 Alternativas Locacionais Gerais

181. No caso de implantação e pavimentação de rodovias, o estudo de alternativas locacionais deverá focar na análise de atributos que auxiliem a escolha do melhor traçado. Deverão ser elaboradas matrizes comparativas utilizando como base as informações levantadas no diagnóstico ambiental de cada meio estudado (físico, biótico e socioeconômico). Essas informações deverão ser as mais detalhadas e específicas possíveis para cada alternativa locacional estudada, visando uma comparação realista e a escolha do melhor traçado a ser implantado, focando não somente, mas principalmente, aspectos de cunho ambiental.

182. Paralelamente, quando pertinente, o estudo deverá apresentar recomendações quanto ao tipo de tecnologia que poderia ser utilizada para minimizar possíveis impactos decorrentes do empreendimento em trechos específicos (por exemplo, implantação de viaduto em detrimento de aterro). No caso específico de travessia de corpos d'água, deverá ser realizada uma avaliação de diferentes alternativas tecnológicas (por exemplo, implantação de uma ponte em detrimento de bueiro triplo e implantação de elevado para acesso à cabeceira da ponte em detrimento de aterro).

183. Deverão ser considerados, no mínimo, os seguintes critérios:

I - menor área total de supressão de vegetação nativa; (sobre imagem de satélite)

II - menor interferência em vegetação nativa, seguindo os conceitos de Ecologia de Paisagens (tamanho e forma de fragmentos áreas núcleo, conectividade, entre outros); (sobre imagem de satélite)

III - menor interferência sobre corredores ecológicos; (sobre imagem de satélite);

IV - menor interceptação e/ou proximidade de Unidades de Conservação (Federais, Estaduais e Municipais) e respectivas zonas de amortecimento ou limites definidos na Resolução CONAMA nº 428/10; mapa com limites das Ucs);

V - menor interceptação de Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade, assim definidas pelo Ministério do Meio Ambiente; mapa com limites das áreas prioritárias;

VI - menor interferência em Áreas de Preservação Permanente (segundo o Código Florestal e Resolução CONAMA nº 302 e 303/02);

VII - menor transposição de cursos hídricos (sobre imagem de satélite e cursos hídricos);

VIII - menor extensão de transposição de áreas de várzeas/baixadas (áreas potenciais de ocorrência de solos hidromórficos, considerando o detalhamento geomorfológico e pedológico);

IX - menor extensão do empreendimento;

X - menor volume de material movimentado (terraplenagem) e escavação/desmonte de rochas; (mapa topográfico);

XI - menor extensão total de aterros;

XII - maior extensão total de túneis/viadutos/elevados;

XIII - menor interferência em áreas cársticas e ou com ocorrência de cavidades naturais (mapa geológico);

XIV - menor interferência em áreas de instabilidade geológico-geotécnicas (suscetíveis a erosão, movimentos de massa, rebaixamentos do nível freático e subsidência, considerando o detalhamento geotécnico, geológico, geomorfológico e pedológico);

XV - menor extensão de interceptação de áreas urbanas; (sobre imagem de satélite);

XVI - menor quantitativo de realocação de população;

XVII - menor interceptação de terras indígenas, projetos de assentamento, comunidades quilombolas, e de outras comunidades tradicionais; (mapa de TI, Comunidades quilombolas e outras comunidades tradicionais);

XVIII - menor interferência no patrimônio artístico e cultural;

XIX - menor interferência sobre áreas de uso comum utilizadas por comunidades tradicionais e extrativistas;

XX - custo financeiro total das obras;

XXI - não realização do empreendimento;

XXII - outros itens julgados pertinentes.

184. Para a visualização dos critérios adotados devem ser apresentados os seguintes mapas georreferenciados e na escala adequada, de forma a obter uma boa visualização, sobre os quais devem estar sobrepostas as alternativas de traçado:

I - Carta imagem atualizada com base em imagem de satélite georreferenciada, com sobreposição dos cursos hídricos e malha viária existente;

II - Mapa das delimitações de Unidades de Conservação, Áreas prioritárias para conservação, terras indígenas, quilombolas e demais comunidades tradicionais;

III - Mapa topográfico incluindo as feições geomorfológicas;

IV - Mapa geológico;

V - Carta geotécnica (quando houver);

VI - Mapa pedológico.