



Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e
Saneamento Ambiental



UFT
Universidade Federal do Tocantins

IMPACTO DE CONDICIONANTES HIDROLÓGICAS NA DEFINIÇÃO DE
TRAÇADOS RODOVIÁRIOS: APLICAÇÃO NA RODOVIA TO-247.

Lúcia Leiko Tacaoca Muraishi Garcia

Porto Alegre - RS

2011

Lúcia Leiko Tacaoca Muraishi Garcia

**IMPACTO DE CONDICIONANTES HIDROLÓGICAS NA DEFINIÇÃO DE
TRAÇADOS RODOVIÁRIOS: APLICAÇÃO NA RODOVIA TO-247.**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito para a obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Carlos André
Bulhões Mendes

Fevereiro, 2011.
Porto Alegre - RS

TERMO DE APROVAÇÃO**Lúcia Leiko Tacaoca Muraishi Garcia****IMPACTO DE CONDICIONANTES HIDROLÓGICAS NA DEFINIÇÃO DE
TRAÇADOS RODOVIÁRIOS: APLICAÇÃO NA RODOVIA TO-247.**

Dissertação aprovada como requisito para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 2011.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Carlos André Bulhões Mendes (Orientador) – IPH/UFRGS

Prof. Dr.

Prof. Dr.

Prof. Dr.

"Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina."

Cora Coralina

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, família, amigos
e à vida
pelo que sou hoje.*

AGRADECIMENTOS

“Ensinaí-me, Senhor, a gratidão para os dons do Vosso Amor. Obrigado, Senhor, pelo dom vida, pelo amor que recebi dos meus pais, e de quantos me ajudaram no meu caminho.”

A Deus por permitir esta grande experiência.

Aos familiares e amigos pela compreensão pelas horas de ausência e ao companheirismo nos momentos de dedicação ao estudo, em especial ao meu filho Rafael Muraishi Garcia e meu marido Fernando Fernandes Garcia.

Ao Prof. Dr. Carlos André Bulhões Mendes orientador da dissertação que com sua visão e saber em análise sistêmica embasou todo o trabalho.

Aos colegas que me apoiaram com seus conhecimentos, além de compartilhar os momentos de superação das dificuldades: Eng^o Ambiental Antônio Cleyton Cavalcante Almeida, Prof^a Eng^o Ambiental Simone da Silva Dutra, Eng^o Ambiental Bruno Rangel Cesar.

Ao Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Tocantins - Dertins, à Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Estado do Tocantins - SRHMA, ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas IPH/UFRGS, à Universidade Federal do Tocantins – UFT, ao Banco Mundial – BIRD, que permitiram e apoiaram a realização do curso de pós-graduação.

À Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado do Tocantins pela bolsa do Programa de Apoio à Pós-Graduação – PAPG.

Aos colegas Ricardo de Souza Fava - Superintendente Técnico do Dertins, Silvio Leão – Superintendente de Planejamento da SEINF, Belizário Franco Neto – Diretor de Meio Ambiente e Recursos Hídricos e demais servidores do Estado do Tocantins pelo esforço dedicado à viabilização do MINTER.

Aos colegas do Dertins pelas valiosas informações, compreensão e suporte para a realização do Mestrado juntamente com o desenvolvimento das atividades diárias da Diretoria de Meio Ambiente.

As grandes amigas que nasceram deste aprendizado, nas pessoas da Eng^a Ambiental Danielle Soares Magalhães e Prof^a Keile Beraldo.

A todos os professores do IPH/UFRGS que compartilharam com dedicação seus profundos conhecimentos introduzindo-nos no mundo das águas.

A todos que contribuíram com suas reflexões para o desenvolvimento deste trabalho, ao meu irmão Prof. Dr. Cid Tacaoca Muraishi, Eng^o Civil Bruno Valois

Filho, Eng^o Agrônomo Aldo Araújo de Azevedo, Eng^o Ambiental Rubens Brito, Eng^o Ambiental Dalvany, Eng^o Civil Rodrigo Lobato e Eng^o Agrícola Bruno Tácito.

RESUMO

A contribuição desta pesquisa é dada através do dimensionamento dos impactos efetivos das rodovias, através da ampliação das áreas de influência para além das faixas lineares, acrescentando a avaliação da sensibilidade ambiental das bacias hidrográficas para a otimização do traçado de empreendimentos rodoviários. Foi produzida uma abordagem ordenada e sistemática das relações de causa e consequência nas bacias, integrando os impactos da rodovia TO-247, interligando as sedes municipais Lagoa do Tocantins e Mateiros. As sub-bacias da região da área do estudo foram classificadas mediante metodologia para estimativa de produção e transporte de sedimentos, em ambiente ArcGis ArcInfo, onde foi aplicado modelo derivado da Equação Universal da Perda de Solos (Universal Soil Loss Equation – USLE) adaptado de Wischmeier e Smith (1978) e da Relação de Distribuição de Sedimentos (Sediment Delivery Ratio – SDR) proposto por Ferro e Minacapilli (1995). Os resultados possibilitaram a classificação das sub-bacias conforme a porcentagem estimativa de carga de sedimentos que potencialmente viria a assorear os cursos d'água mediante a modificação do seu uso pela ocupação do solo induzida pela rodovia. Os critérios relevantes à definição do traçado da rodovia foram divididos em três: (1) aspectos ambientais, (2) aspectos construtivos e (3) aspectos socioeconômicos, tendo sido parametrizados através do uso de Sistema de Informação Geográfica com algoritmos em ambiente raster, na definição de caminhos de mínimo custo. A otimização da rota proposta sugere a adição de ganhos na orientação dos tomadores de decisão, como a inserção da rodovia TO-247 em bacias com menor nível de restrição de relação de aporte de sedimentos, redução das travessias sobre áreas protegidas, diminuição das obras de arte (bueiros e pontes) e da execução de cortes e aterros, incluindo a possibilidade de melhoria dos acessos aos pontos turísticos de interesse para o desenvolvimento regional. A incorporação de condicionantes hidrológicas através da classificação das bacias quanto a produção e transferência dos sedimentos destacou a principal novidade que foi a definição da área de influência delimitada pelos impactos ambientais de projetos rodoviários para os limites das bacias, podendo contribuir com o planejamento de estradas indutoras de desenvolvimento.

Palavras-chave: bacias hidrográficas, rodovias, usle e sdr, área de influência, caminhos ótimos.

ABSTRACT

The contribution of this research is given by the design of effective impacts of highways, through the expansion of the influence areas beyond the linear tracks, adding the assessment of the environmental sensitivity of watersheds in order to optimize the layout of road projects. It was produced an orderly and systematic approach of the cause and consequence relations in the watersheds incorporating in it the TO-247 highway impacts, linking the cities of Mateiros and Lagoa do Tocantins. The watersheds in the region of the study area were classified using methodology for estimating production and transport of sediment in ArcGIS ArcInfo environment. It was applied the equation model derived from the Universal Soil Loss Equation - USLE adapted from Wischmeier and Smith (1978) and the Sediment Delivery Ratio - SDR according to what is proposed by Ferro and Minacapilli (1995). Those results allowed the classification of watersheds according to the percentage estimate of sediment load that would potentially silting up the waterways through modification of their usage by land use induced by the highway. The relevant criteria to define the highway route were divided into three: (1) environmental, (2) construction and (3) socioeconomic aspects, which have been parameterized by using Geographic Information System with algorithms in raster environment into the definition of low cost paths. The optimization of the route proposal in TO-247 suggests adding profit in orientation of decision makers, such as entering the highway in watersheds with lower levels of restriction regarding the amount of sediment, reduction of crossings on protected areas, reduction of culverts and bridges and the implementation of sections and embankments, including the possibility of improved access to interest tourist points for regional development. The incorporation of hydrological conditions through the classification of river watersheds as the production and transfer of sediments, which highlighted the main novelty, was the expansion circumscription of the influence area bounded by the environmental impacts of road projects for the limits of the watersheds, which may contribute to the planning of roads inducing development.

Keywords: watershed, roads, USLE and SDR, influence area, optimal paths.

*Sinto-me nascido a cada momento
para a eterna novidade do Mundo....”
(Fernando Pessoa)*

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1. APRESENTAÇÃO.....	12
1.1 Introdução.....	12
1.2 Justificativa.....	14
1.3 Objetivos.....	16
1.4 Estrutura do Texto.....	16
CAPÍTULO 2. REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1 Transportes e meio ambiente: modal rodoviário.....	18
2.2 Avaliação de impactos ambientais.....	19
2.3 Impactos ambientais de empreendimentos rodoviários.....	22
2.3.1. <i>Avaliação Ambiental Estratégica</i>	23
2.3.2. <i>Áreas de influência de empreendimentos rodoviários</i>	26
2.3.3. <i>Bacias como Unidade de Planejamento para AIA</i>	28
2.3.4 <i>Equação Univesal da Perda de Solo e SDR na avaliação de Bacias</i> ...	30
2.3.5. <i>Otimização de rotas</i>	34
2.4 Sistema de Informação Geográfica – SIG.....	35
CAPÍTULO 3. METODOLOGIA DESENVOLVIDA.....	38
3.1 Definição da área de estudo.....	41
3.2 Aquisição de dados.....	41
3.3 Pré-processamento e análise de dados.....	43
3.3.1. <i>Crítérios, restrições e grau de penalização</i>	43
3.3.2. <i>Preparação dos mapas de atrito</i>	46
3.4 Avaliação da geração e aporte de sedimentos nas sub-bacias.....	50
3.4.1 <i>Estimativa da produção de sedimentos (balanço vertical)</i> <i>pela Equação Universal de Perdas de Solo – USLE</i>	51
3.4.2 <i>Aporte de Sedimentos (movimentação lateral)</i>	53
3.5 Aplicação do caminho de mínimo custo.....	55
CAPÍTULO 4. CASO DE ESTUDO	56
4.1 Caracterização geral da área estudada.....	56
4.2 Caracterização ambiental.....	58

4.3 Aplicação do modelo proposto	62
4.3.1 Definição da área do estudo	62
4.3.2 Aquisição dos dados da área do estudo	63
4.3.3 Pré-processamento e análise dos dados	63
<u>4.3.3.1 Aspectos ambientais</u>	64
<u>4.3.3.2 Aspectos construtivos</u>	68
<u>4.3.3.3 Aspecto socioeconômico</u>	71
4.3.4 Produção e aporte de sedimentos	73
<u>4.3.4.1 Aplicação da USLE</u>	73
<u>4.3.4.2 Aporte de sedimentos – movimentação lateral</u>	83
4.3.5 Otimização do traçado da obra rodoviária	95
CAPÍTULO 5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	97
5.1 Análise comparativa das alternativas locacionais	103
5.1.1 Avaliação da alternativa A – aspectos ambientais	103
5.1.2 Avaliação da alternativa B – aspectos construtivos	107
5.1.3 Avaliação da alternativa C – aspecto socioeconômico	109
5.1.4 Avaliação da otimização final do traçado – alternativa D	110
5.1.5 Inserção das bacias hidrográficas na avaliação de impactos ambientais de rodovias	113
CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES	116
CAPÍTULO 7. RECOMENDAÇÕES	119
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121
APÊNDICES	129

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Fluxograma da metodologia.....	40
FIGURA 2. Mapa de localização da área de estudo, inseridas nas Bacias do rio Sono e Bacia do rio das Balsas, região do Jalapão – TO.....	57
FIGURA 3. Atrativo turístico: Cachoeira da Velha, município de Ponte Alta (TO).	61
FIGURA 4. Atrativo turístico: Dunas, município de Mateiros (TO).....	62
FIGURA 5. Mapa das Bacias do rio das Balsas e do rio Sono.....	63
FIGURA 6. Mapa de erosividade das chuvas na região do Jalapão – TO.....	71
FIGURA 7. Fator topográfico – LS da sub-bacia do rio Vermelho.....	81
FIGURA 8. Perdas de solo – A (t/há.ano) na sub-bacia do rio Vermelho.....	83
FIGURA 9. Coeficiente de Manning da sub-bacia do rio Vermelho.....	87
FIGURA 10. Raio hidráulico da sub-bacia do rio Vermelho.....	88
FIGURA 11. Mapa da velocidade de escoamento da sub-bacia do rio Vermelho	89
FIGURA 12. Mapa do SDR f(tempo) para a sub-bacia do rio Vermelho.....	92
FIGURA 13. Mapa das distâncias à drenagem da sub-bacia do rio Vermelho.....	93
FIGURA 14. Mapa da classificação das bacias na área do estudo f(d).....	95
FIGURA 15. Mapa da produção total de sedimentos do rio Vermelho.....	99
FIGURA 16. Mapa do aporte total de sedimentos f(d) do rio Vermelho.....	100
FIGURA 17. Mapa da Alternativa A para a rodovia TO-247.....	104
FIGURA 18. Detalhamento da Alternativa A para a rodovia TO-247.....	105
FIGURA 19. Relação da Alternativa A com as UC's para a rodovia TO-247.....	106
FIGURA 20. Relação da Alternativa A com as sub-bacias na rodovia TO-247....	107
FIGURA 21. Mapa da Alternativa B de traçado para a rodovia TO-247.....	108
FIGURA 22. Detalhamento da alternativa B para a rodovia TO-247.....	109
FIGURA 23. Alternativa do aspecto socioeconômico C para a rodovia TO-247...	110
FIGURA 24. Resultado da otimização de rota – alternativa de traçado D para a rodovia TO-247.....	112
FIGURA 25. Mapa da otimização de rota – alternativa de traçado D para a rodovia TO-247 sobre imagem CBERS.....	113
FIGURA 26. Mapa da área de influência delimitada por sub-bacias para a rodovia TO-247.....	114
FIGURA 27. Mapa comparado das áreas de influência indireta da rodovia TO-247.....	115

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Níveis de restrição à pavimentação da rodovia e respectivos graus de penalização.....	46
TABELA 2. Coordenadas das sedes municipais da área de estudo.....	58
TABELA 3. Reclassificação com agrupamento dos indicadores de uso do solo..	64
TABELA 4. Grau de penalização das categorias de Unidades de Conservação ou Áreas Protegidas.....	67
TABELA 5. Classificação das bacias por área, modalidades de obras de arte e grau de penalização.....	69
TABELA 6. Reclassificação dos indicadores de declividade e grau de penalização das classes de declividade.....	71
TABELA 7. Localização dos pontos turísticos.....	72
TABELA 8. Reclassificação dos indicadores de distância para pontos turísticos..	73
TABELA 9. Dados de perímetro e área das sub-bacias da bacia do rio das Balsas – T9 e bacia do Rio Sono – T10.....	74
TABELA 10. Demonstrativo das erosividades calculada por posto e estação pluviométricos.....	75
TABELA 11. Valores de fator K para as classes de solo da área do estudo.....	78
TABELA 12. Valores do fator C para diferentes potenciais de uso do solo.....	82
TABELA 13. Coeficiente de rugosidade para canais naturais.....	85
TABELA 14. Valores de Raio Hidráulico atribuídos a áreas de drenagem agrupadas.....	86
TABELA 16. Aporte de sedimentos e taxa de liberação de sedimentos em função do tempo, correlacionado ao grau de penalização da área do estudo – região Jalapão – TO.....	91
TABELA 17. Reclassificação dos indicadores de aporte de sedimentos por sub-bacia e respectivo grau de penalização em função da distância.....	94
TABELA 18. Valores de perdas de solo, obtidos através da equação universal de perdas de solo – USLE para as sub-bacias da área do estudo na região Jalapão – TO.....	98
TABELA 19. Comparativo de grau de penalização dos aspectos ambientais, construtivos e socioeconômicos.....	102

LISTA DE SIGLAS

- AIA** – Avaliação de Impacto Ambiental.
- AII** – Área de Influência Indireta.
- AID** – Área de Influência Direta.
- ANA** – Agência Nacional de Águas.
- APA** – Área de Proteção Ambiental.
- APP** – Área de Preservação Permanente
- BIRD** – Banco Mundial.
- COEMA** – Conselho Estadual do Meio Ambiente.
- CONAMA** – Conselho Nacional do Meio Ambiente.
- DETRINS** – Departamento de Estradas e Rodagem do Estado do Tocantins.
- DNIT** – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.
- EIA/RIMA** – Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental.
- EMBRAPA** – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
- IBAMA** - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.
- IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- ICMBio** – Instituto Chico Mendes para a Biodiversidade.
- MMA** – Ministério do Meio Ambiente.
- NATURATINS** – Instituto Natureza do Tocantins.
- PBA** – Plano Básico Ambiental.
- PDRIS** - Programa de Desenvolvimento Regional Integrado Sustentável.
- PDRS** - Programa de Desenvolvimento Rural Sustentável.
- PNMA** – Política Nacional de Meio Ambiente
- PNRH** – Plano Nacional de Recursos Hídricos
- PNRH** – Política Nacional de Recursos Hídricos
- PRH** - Plano de Recursos Hídricos
- SEPLAN** – Secretaria de Planejamento do Estado do Tocantins
- SIG** – Sistema de Informações Geográficas.
- SDR** – *Sedimentary Delivery Ratio* (Relação de Distribuição de Sedimentos)
- SEUC** - Sistema Estadual de Unidades de Conservação.
- SNUC** – Sistema Nacional de Unidades de Conservação.
- SRH** – Secretaria dos Recursos Hídricos
- SRTM** - *Shuttle Radar Topography Mission*
- USLE** - *Universal Soil Loss Equation* (Equação Universal de Perdas de Solos)
- ZEE** – Zoneamento Ecológico-Econômico.

1. APRESENTAÇÃO

1.1. Introdução

Os problemas ambientais provocados pela implantação de projetos rodoviários, como de outras áreas, decorrem, em grande parte, das carências do processo decisório que orienta a utilização dos recursos ambientais.

O planejamento ambiental deve prever a realização de estudo prospectivo que visa a adequação do uso do ambiente às aspirações sociais e/ou governamentais.

Torna-se premente a inclusão da questão ambiental como parte integrante do planejamento de empreendimentos de infraestrutura rodoviária, especialmente na alocação de recursos orçamentários, uma vez que na fase de execução destas obras já se configura como crime ambiental a ausência de licenciamento (Lei 9605/98 – Lei de crimes ambientais).

Esta preocupação deve ter início na fase de elaboração do projeto, quando é definida a proposta de alternativa de traçado a ser estudada. Enquanto que há até duas décadas atrás, os projetos de rodovias consideravam somente os aspectos geométricos e geotécnicos, atualmente a abordagem ambiental é exigida pela legislação e pela sociedade, além das constantes discussões nas audiências públicas sobre a definição da diretriz do traçado rodoviário.

Os empreendimentos do setor de transporte, como as implantações e pavimentações de rodovias são consideradas atividades causadoras de impacto ambiental de acordo com a Resolução CONAMA 001/86, que dispõe sobre critérios da Avaliação de Impacto Ambiental, posteriormente modificada pela Resolução CONAMA 237/97. Nesta Resolução o artigo segundo estabelece a necessidade de elaboração de Estudo de Impacto Ambiental – EIA e respectivo Relatório de Impacto do Meio Ambiente – RIMA, para uma série de atividades, onde se destaca o inciso “I – Estradas de Rodagem com duas ou mais faixas de rolamento”, tendo como exigências no seu escopo a definição da Área de Influência Direta e Indireta com apresentação de estudo de alternativas de traçado.

A partir do conhecimento preliminar do empreendimento e de sua região de inserção, são identificadas as questões ambientais mais importantes que poderão envolver o empreendimento, representados pelos impactos ambientais flagrantes.

Por intermédio desse conhecimento, são definidos e justificados os limites das áreas de estudo, demarcando-se as áreas de influência direta – AID e áreas de influência indireta – AI dos impactos da implantação e operação do trecho projetado. Essa delimitação é feita de acordo com as especificidades das condicionantes ambientais estudadas nos meios físico, biótico e antrópico (socioeconômico e cultural) e considerando-se as áreas de intervenções das obras, identificando-se e analisando-se o potencial de modificação do empreendimento sobre esses condicionantes, nas fases de planejamento/projeto, construção e operação.

Estas áreas que interagem diretamente e indiretamente com as estruturas físicas da rodovia, sua faixa de domínio e as demais áreas que sofrem alterações geradas pelas mesmas, tem uma clara relação causal com as bacias hidrográficas, citadas em legislação CONAMA 001/86, porém na prática não observada no desenvolvimento de estudos ambientais e no auxílio a processos de decisão de alternativas de traçado (BRASIL, 1986).

Em uma compilação das principais deficiências dos EIAs no Brasil, efetuada por equipe do Ministério Público Federal em 2004, Sanchez (2008a) relata a desconsideração da bacia hidrográfica na delimitação das áreas de influência, atividade esta realizada “sem alicerce nas características e vulnerabilidades dos ambientes naturais”, também se repetindo a constatação de ausência de proposição de alternativas de traçado. Outros autores acrescentam a ocorrência de falhas na qualidade dos estudos ambientais no Brasil em projetos diversos, tendo sido verificado que “a consideração de alternativas foi negligenciada” (AGRA FILHO, 1993 apud SÁNCHEZ, 2008a), em alguns tipos de empreendimentos até há falta de menção a estudos de alternativas locais e tecnológicas.

As dinâmicas de alteração do uso do solo, decorrentes da implantação/pavimentação de estradas modificam profundamente o uso do solo próximos dos divisores de bacias, local preferido para construção devido a menores custos. Nos EIA/RIMA as áreas de influência direta/indireta de estradas são faixas lineares ao redor do eixo da estrada, atualmente delimitadas por 5 km até 30 km sendo que na realidade os possíveis impactos podem estar muito além das áreas de influência.

Dependendo da fragilidade do local, por exemplo, solos com forte potencial de erodibilidade, o impacto associado às transformações de uso do solo podem ser

sentidos em trechos à jusante, muito distante das nascentes e além das áreas de influência definidas nos EIA/RIMA de rodovias.

Dito de outra forma, os impactos associados a projetos rodoviários não são corretamente analisados com definição de faixas lineares ao redor do eixo como área de influência.

Visando analisar com mais propriedade os impactos de rodovias sobre os recursos naturais foi proposta a inserção das bacias hidrográficas na análise da área de influência do empreendimento viário.

1.2. Justificativa

As obras do setor de transportes rodoviários como todas as atividades humanas, necessitam de suporte a tomadas de decisão, que garantam a sustentabilidade ambiental, ou seja, a garantia que futuras gerações possam usufruir dos benefícios que o meio ambiente nos proporciona no presente.

O rigor da legislação juntamente com o crescimento da conscientização ambiental na sociedade, verificado nas audiências públicas e questionamentos tanto dos órgãos ambientais como das comunidades afetadas, juntamente às exigências das instituições financeiras nacionais e internacionais, conduz uma maior responsabilidade de estudos técnicos de avaliações de impactos ambientais bem fundamentados para obras viárias.

Este trabalho aplicou a metodologia de avaliação de impacto ambiental que fez a inserção ambiental no planejamento de projetos rodoviários, através de ferramentas de auxílio ao processo decisório de fácil acesso.

A escolha de melhor traçado para implantação e pavimentação de rodovias, com aplicação de recurso público, em atendimento à demanda das comunidades locais e regionais, dinamizadoras de desenvolvimento, é um desafio aos governantes, tendo em vista, a necessidade de atender aos critérios de engenharia civil, socioeconômicos e da viabilidade ambiental. Assim, a definição da melhor alternativa locacional depende da área em que provocará os impactos.

Sánchez (2008a) considera a busca e comparação de alternativas de traçado um dos pilares da AIA, com papel fundamental na concepção de projetos ambientalmente menos agressivos.

Segundo o artigo 5º da Resolução CONAMA 001/86, "o estudo de impacto ambiental deverá definir os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos, denominada área de influência do projeto, considerando, em todos os casos, a bacia hidrográfica no qual se localiza".

A partir do conhecimento preliminar do empreendimento e de sua região de inserção, são identificadas as questões ambientais mais importantes que poderão envolver o empreendimento, representados pelos impactos ambientais flagrantes. Cabe aí a inserção do estudo da bacia hidrográfica afetada pela obra rodoviária como fator de decisão para o estudo de alternativas.

Ainda no Art.º 5, inciso I da Resolução CONAMA 001/86 prevê-se que o EIA deve contemplar todas as alternativas de localização de projeto, estas devem ser elaboradas com base nas análises econômicas, técnica e ambiental

Os projetos rodoviários no Brasil, em sua maioria são usados como ponta-de-lança em programas de desenvolvimento (BELLIA e BIDONE,1993) devendo o planejamento ambiental prever a apropriação dos recursos com a perpetuação do potencial de geração do desenvolvimento, já tendo sido observado casos em estados do Brasil, de desastres ambientais na ocupação das áreas de expansão.

O uso de financiamentos internacionais, a exemplo do Banco Mundial, que estipulam condições para influenciar a decisão dos governantes com a incorporação de considerações ambientais no planejamento, ocorre em países em desenvolvimento, em especial no estado do Tocantins, onde já foram desenvolvidos o Projeto de Gerenciamento da Malha Viária, o Programa de Desenvolvimento Rural Sustentável – PDRS e encontra-se aprovado para início em 2011 o Programa de Desenvolvimento Regional Integrado Sustentável – PDRIS.

A pavimentação de rodovias que propiciem o desenvolvimento em áreas potencialmente críticas ambientalmente e sob a ótica econômica conduz a uma reflexão da possível sinergia de impactos que advirão com conseqüências para o meio ambiente. Assim, considerando que a infraestrutura viária desempenha papel importante no desenvolvimento regional, com modificações no espaço territorial no âmbito das bacias propôs-se este estudo considerando os impactos advindos desta ocupação.

1.3. Objetivos

O presente estudo foi proposto na medida em que em uma avaliação crítica dos estudos ambientais de rodovias foram verificadas deficiências na indicação da abrangência espacial dos impactos, ou seja, a área de influência do empreendimento, fator que contribui para a definição da melhor alternativa locacional.

Colocou-se a questão: os limites das áreas de estudo, demarcando-se o sítio de incidência direta e indireta dos impactos da implantação e operação dos trechos rodoviários projetados considerando faixas de largura mínima a partir do eixo da rodovia são apropriados para orientar e dimensionar a avaliação dos impactos ambientais?

A partir destas considerações foi levantada a hipótese: as bacias hidrográficas podem ser consideradas como a unidade geográfica para a avaliação dos impactos ambientais, compreendendo as dinâmicas de alteração do uso do solo, decorrentes da implantação/pavimentação de estradas.

O objetivo principal desta dissertação é a demonstração que a inserção das bacias hidrográficas na avaliação de impactos ambientais de empreendimentos viários contribuirá para a tomada de decisão sobre melhor opção de traçado.

Foi eleito como caso de estudo, a rodovia estadual TO-247 que deverá ser implantada e pavimentada visando a ligação da região central (capital – Palmas-TO) ao Jalapão, impactando uma região com diversas restrições ambientais, porém, com grande potencial turístico e agrícola, além dos benefícios sociais.

1.4. Estrutura do texto

A dissertação foi desenvolvida em sete capítulos. O primeiro capítulo apresenta a introdução para o tema da pesquisa, sendo descrito o seu objetivo e relevância.

O segundo capítulo discorre sobre a revisão de literatura, percorrendo por experiências de trabalhos de pesquisa de diversos autores, em avaliação de impactos ambientais de projetos semelhantes de implantação / adequação na pavimentação rodoviária, buscando orientar o trabalho.

O terceiro capítulo – Metodologia Desenvolvida traz uma abordagem descrevendo as atividades que foram desenvolvidas para comprovar a necessidade

de considerar os limites da bacia hidrográfica como área de influência do empreendimento na avaliação dos impactos.

O capítulo quarto refere-se ao Caso de Estudo escolhido em que foi testada a hipótese apresentada, na situação da rodovia TO-247, para ligação das sedes municipais Lagoa do Tocantins e Mateiros. Neste capítulo foi efetuada a aplicação do modelo proposto onde são desenvolvidas todas as fases da metodologia da pesquisa, com as ferramentas propostas ao caso de estudo.

A avaliação da pesquisa é apresentada no capítulo quinto, denominado Análise e Discussão dos Resultados.

Finalmente, as conclusões e recomendações são discorridas no capítulo sexto que leva o mesmo título.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Transportes e Meio Ambiente: modal rodoviário

O processo de ocupação da Região Amazônica como fronteira agrícola foi deflagrado a partir da década de 1970, através de programas de incentivo governamentais, marcado por ações ocorridas na década de 60 como a implantação da rodovia Belém/Brasília e a mudança da capital do país para Brasília pelo presidente Juscelino Kubitschek.

A Implantação de rodovias na Amazônia estruturou-se segundo a ótica de Investimentos em Regiões não Ocupadas, em cujos objetivos foram priorizados sua integração com as demais regiões do País, a colonização e a segurança nacional, segundo Araújo (2000) o modelo adotado de planejamento ocorreu sem qualquer análise interna sobre as demandas de ordem local e regional e segundo os interesses de oligarquias e grupos locais, sendo, também, influenciado por interesses externos, numa visão de “região provedora” de recursos naturais.

A ocupação da Amazônia Legal se deu sem nenhuma preocupação ambiental, tendo sido deflagrada a mudança de postura governamental somente a partir de 1980, com a atividade estradas que têm atuado então, como dinamizadoras do desenvolvimento. Porém diversos autores têm comprovado a sua associação às atividades impactantes como o desmatamento que configura em uma modificação no uso do solo, necessária a implantação de cultivo agrícola, pecuária, extração de madeira (PEREZ, 2007). A mesma autora, concluiu que no estado do Rio Branco foi possível observar que o desmatamento acompanha as linhas das rodovias federais e estaduais implantadas.

O sistema viário como fator de promoção do desenvolvimento socioeconômico é considerado vital também na expansão do turismo, Beni (1998) destaca a comprovação de que o uso de automóvel ou ônibus possibilita maior lazer, quando o homem moderno tem suas atividades cada vez mais relacionadas com o uso do automóvel. Neste sentido, as estradas turísticas devem ter critérios de traçado e construção bastante peculiares, denominados “corredor cênico” compreendendo fatores como ângulo e duração da visão dos usuários, vegetação, impacto visual. Esta

atividade, principalmente o ecoturismo depende não só da infraestrutura, como também da manutenção da qualidade ambiental na região.

Fogliatti, Fillippo e Goudard (2002) afirmam que a integração entre transportes, desenvolvimento econômico, qualidade de vida e meio ambiente foi o paradigma do século XX, quando avaliada a qualidade de vida de um indivíduo a maioria entre os parâmetros como saúde, lazer, educação entre outros dependem de um bom sistema de transporte. A facilidade de mobilidade e acessibilidade a determinada região que as rodovias proporciona, determinam o desenvolvimento econômico desta, porém a cada etapa, planejamento, projeto, construção e operação, associam-se impactos ambientais em maior ou menor grau.

A incorporação de modelos como o logístico, que permite a avaliação de impactos ocasionados por forças indutoras de desenvolvimento, como a conversão para uso agrícola por custos de transportes e outros fatores foi estudada por Mendes, Carlos et al. [200-] no Pantanal, que recomendam “os modelos poderiam ser incorporados em um arcabouço institucional de planejamento, análise de cenários e avaliação de impactos à nível governamental.”

A preocupação ambiental com as rodovias tem-se acentuado e cada vez mais recomendados estudos com vistas a melhoria da gestão territorial e a conservação dos recursos hídricos, a exemplo da dissertação realizada por Carneiro (2008) na região do Jalapão - TO, onde a pressão agrícola e o crescimento da atividade turística são fatores de demanda por infraestrutura viária. Neste trabalho, foi efetuada uma análise síntese dos passivos ambientais relacionados à faixa de domínio da rodovia estudada onde se destacaram aqueles relacionados aos solos e aos recursos hídricos, 49% devido à assoreamento e 12% à erosão.

2.2 Avaliação de Impactos Ambientais

A evolução das ciências ligadas ao meio ambiente e a crescente popularização do tema meio ambiente tem introduzido uma diversidade de conceitos sobre as terminologias em uso relacionadas às expressões poluição, impacto ambiental e avaliação, mesmo entre especialistas, colocando a necessidade de estabelecer uma base conceitual comum visando uma comunicação mais eficaz.

Na legislação brasileira, meio ambiente é “o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e

rege a vida em todas as suas formas” (Lei Federal 6.938, de 31 de agosto de 1981, art 3º, I).

Em uma visão mais abrangente Sánchez (2008a) define:

Por um lado, ambiente é o meio de onde a sociedade extrai os recursos essenciais à sobrevivência e os recursos demandados pelo processo de desenvolvimento socioeconômico. (...) Por outro lado, o ambiente é também o meio de vida, de cuja integridade depende a manutenção de funções ecológicas essenciais à vida. Desse modo, emergiu o conceito de recurso ambiental, que se refere não mais somente à capacidade da natureza de fornecer recursos físicos, mas também de prover serviços e desempenhar funções de suporte à vida.

O termo poluição traz a conotação negativa da introdução no meio ambiente de qualquer forma de matéria ou energia que possa afetar os organismos vivos, podendo-se correlacionar certas grandezas físicas ou parâmetros químicos ou físico-químicos para os quais podem ser estabelecidos valores de referência. A emissão de poluentes não abrange toda a dimensão da degradação ambiental causada pela atividade humana, sendo que foi introduzido o conceito de impacto ambiental para cobrir os demais processos.

Na literatura técnica, são encontradas várias definições de impacto ambiental, de acordo com Sánchez (2008a) sintetiza em “alteração da qualidade ambiental que resulta da modificação de processos naturais ou sociais provocada por ação humana”. Muitas vezes é confundido com a sua causa, a exemplo de uma rodovia, que não é o impacto e sim a causa dos impactos ambientais. Outra forma bastante divulgada nos meios de comunicação é a sua associação somente a situações negativas, porém se é uma alteração provocada por ação humana, pode ser benéfica ou adversa.

A avaliação de impacto ambiental – AIA, da tradução de *environmental impact assessment*, onde *assessment* é de origem latina de assentar, sinônimo de *evaluation*, o mesmo que avaliar, em espanhol *evaluacion* e segundo definição adotada pela International Association for Impact Assessment – IAA “é o processo de identificar as consequências futuras de uma ação presente ou proposta”.

Outro enfoque é dado na definição em que a considera um instrumento de execução de política ambiental, constituído por um conjunto de procedimentos técnicos e administrativos, visando à realização da análise sistemática dos impactos ambientais da instalação ou ampliação de uma atividade e suas diversas alternativas,

com a finalidade de embasar as decisões quanto ao seu licenciamento (DE LUCA, 2008a). Tem por tarefa, apoiar o processo de tomada de decisões, especialmente no que se refere à seleção de alternativas de desenvolvimento da ação em estudo e a consideração de estratégias de gestão ambiental.

Sanchez (2008) também, alerta que para cumprir a função de ferramenta eficiente de política pública, a avaliação de impacto ambiental precisa desempenhar quatro papéis: ajuda á tomada de decisão, auxílio à concepção de projeto e planejamento, instrumento de gestão e de negociação social.

Foi destacado por Bellia et all. (2005) que a gestão ambiental de obras rodoviárias deve garantir a execução dos Estudos Prévios de Viabilidade Ambiental e dos Estudos de Impacto Ambientais (EIA/RIMA e PBA) e o respeito ás normas e especificações aplicáveis.

Os estudos prévios compreendem a elaboração de Avaliação Ambiental Estratégica que deve ser realizada durante a fase de concepção das obras e instalações e do estudo de alternativas técnicas locais. Nesta fase, apesar da sua importância, uma vez que são tomadas as decisões sobre o melhor traçado, que são apresentados à sociedade nas audiências públicas no conteúdo da elaboração do EIA/RIMA, verifica-se a existência de abordagens superficiais nos projetos de engenharia (BELLIA et all., 2005).

Omena e Santos (2008) em análise de procedimentos da AIA da rodovia SE/100 Sul conclui que pairam questionamentos sobre a efetividade do processo de avaliação de impactos realizada, cuja principal fragilidade é a falta de análise sistêmica, “integrando e comparando os efeitos ambientais esperados do projeto e de cada uma de suas alternativas”, percebendo a necessidade de estudos que contemplem o projeto desde a sua concepção e que atue efetivamente como instrumento de gestão. Os Estudos de Impactos Ambientais e respectivos Relatórios de Impactos Ambientais são considerados o mais detalhado entre os estudos ambientais que são previstos na legislação vigente, constituindo-se em um instrumento importante de decisão no licenciamento, devendo ser apresentados na fase de planejamento da obra, porém, muitas vezes associado somente à obtenção da licença ambiental.

2.3 Impactos Ambientais de empreendimentos rodoviários

A dinamização da economia regional é um impacto comum nas avaliações de impactos ambientais de projetos de implantação e pavimentação de rodovias, causando modificações no uso do solo devido à facilidade no escoamento da produção. Figura entre os impactos com classificação quanto à natureza positiva, e ocorrência indireta, sendo estabelecido na fase de operação da rodovia, considerado fator conclusivo motivador da realização do empreendimento (BELLIA E BIDONE, 1993).

Em análise dos padrões de modificação do uso do solo provocados pelo homem, que envolve uma complexidade de fatores, as rodovias no Pantanal foram expressas na relação causa-efeito por Mendes, Carlos B. et al. [200-] da seguinte forma: políticas públicas como construção de estradas e ferrovias provocando alterações no uso do solo resultando em efeitos sobre a bacia hidrográfica (unidade ambiental de planejamento).

A partir do conhecimento preliminar do empreendimento e de sua região de inserção, são identificadas as questões ambientais mais importantes que poderão envolver o empreendimento, representados pelos impactos ambientais flagrantes. Dentre os impactos mais comuns da maioria dos empreendimentos rodoviários destacam-se os problemas que se referem ao meio físico (assoreamentos e erosões), associados à fase construtiva e a ocupação do solo nas áreas marginais provocado pelo fator de dinamização da economia regional, sendo os sedimentos, o mais significativo dos poluentes da água (GALLARDO, 2004).

A necessidade de preparação de cartas de suscetibilidade a processos de dinâmica superficial que poderiam subsidiar os estudos de alternativas de traçado foi verificada por Gallardo (2004) em análise das práticas de gestão ambiental na construção da rodovia dos Imigrantes sendo uma contribuição para roteiros de elaboração de estudos ambientais de rodovias.

O planejamento ambiental, por seu caráter preventivo, deve ser coerente com a base de recursos naturais e socioeconômicos, assim, a tomada de decisão no setor de transporte deve caminhar através do compartilhamento entre os propósitos e necessidades das agências de transportes e da população, conforme Lisboa (2002a), contemplando as fases de lançamento de alternativas do traçado, escopo da

avaliação dos impactos, medidas mitigadoras, até a escolha da alternativa de traçado a ser detalhada posteriormente.

A análise e comparação de alternativas, no que se refere às obras lineares, onde se enquadram as rodovias, são muito complexas, envolvendo a necessidade de comparar, classificar ou hierarquizar impactos de características muito diferentes.

2.3.1. Avaliação Ambiental Estratégica

A avaliação de impactos ambientais é dividida em três estágios pelos autores Uzelac; Veljkovic (1995) citado por Lisboa (2002): *Strategic Environmental Impact Assessment (SEIA)* ou Avaliação Ambiental Estratégica (AAE), *Preliminary Environmental Impact Assessment (PEIA)* ou Avaliação de Impacto Ambiental Preliminar e *Detailed Environmental Impact Assessment* ou Avaliação Detalhada de Impacto Ambiental. A AAE é a mais abrangente análise espacial do quesito meio ambiente ocorrendo na fase inicial de planejamento do projeto, sendo que a Avaliação de Impacto Ambiental Preliminar representa a etapa de seleção do melhor traçado de uma rodovia a ser implantada.

O que tem motivado a utilização da Avaliação Ambiental Estratégica – AAE no Brasil, mais recentemente que nos outros países são as limitações naturais do Estudo de Impacto Ambiental (EIA). Estes apresentam dificuldades em analisar com profundidade alternativas tecnológicas e de localização e “a avaliação de projetos é feita sem levar em conta boa parte dos impactos cumulativos ou sinérgicos, ou alguns dos mais importantes impactos indiretos” (Sánchez, 2008b).

Para Sánchez (2008b) a avaliação ambiental estratégica (AAE) ocorre no âmbito de iniciativas, geralmente governamentais, porém avalia impactos ambientais de políticas, planos e programas, indo além dos projetos individuais.

Sadles e Verheem (1996) citado por Sánchez (2008b) destacam que a AAE deve ser utilizada no processo decisório, adequando e equacionando a avaliação das conseqüências ambientais com o peso das considerações sociais e econômicas.

Lisboa [200-b] considera a introdução da AAE e a Avaliação de Impacto Ambiental Preliminar fundamental para a garantia da qualidade da implantação de empreendimentos rodoviários, uma vez que a etapa de escolha da alternativa locacional de um projeto deve ser considerada uma das mais críticas e decisivas para o sucesso deste.

O conteúdo e qualidade da Avaliação Ambiental Estratégica é bastante discutida, sob a ótica da *International Association for Impact Assessment* foi proposto que “um processo de avaliação ambiental estratégica de boa qualidade informa os planejadores, os tomadores de decisão e o público afetado sobre a sustentabilidade das decisões estratégicas, facilita a busca da melhor alternativa e assegura um processo decisório democrático. Isto aumenta a credibilidade das decisões e conduz a avaliações de impacto ambiental de projetos mais baratas e mais rápidas.” (IAIA, 2002.) Aos critérios de desempenho da IAIA o Banco Mundial (AHMED, MERCIER e VERHEEM, 2005) citado por Sánchez (2008b) acrescentou mais um: a AAE deve ser capaz de influenciar a tomada de decisão.

Já no campo da avaliação de impactos ambientais detalhadas, são citados nas orientações de documento produzido pelo Ibama (1995) diversas técnicas de apoio à realização dos estudos de impactos ambientais - EIA que são divididos por alguns autores em fases distintas: identificação dos impactos, previsão dos impactos e avaliação da importância dos impactos.

Foram citados por Gallardo (2004) vários autores que citam a existência de métodos diversos para identificação dos impactos ambientais que são encontrados na literatura, cada qual com suas vantagens. Seguem alguns métodos citados:

- *check lists*;
- matrizes, adaptações da Matriz de *Leopold*;
- redes de interação;
- *overlay*;

Fogliatti, Fillippo e Goudard (2004) acrescentam outros métodos, como os mais utilizados em empreendimentos viários, citando-se além dos listados anteriormente: Modelos de Simulação, Análise Multicritério, Sistemas Especialistas e Modelo Fuzzy. A autora destaca também o surgimento de métodos que objetivam quantificar, comparar e selecionar a melhor alternativa, bem como monitorar e determinar medidas mitigadoras como o Método de Batelle também citado por De Luca (2008), as Matrizes de Realização de Objetivos e as Folhas de Balanço.

Para Sánchez (2008a) é na fase de previsão dos impactos que será estimada a intensidade dos impactos ambientais e fornecidos dados para a avaliação da importância dos impactos e prognosticar a situação futura do ambiente entre outras funções. A atividade de previsão de impactos se desenvolve através da escolha de indicadores, definição do método do trabalho ou modelo, calibração e validação do

método, aplicação e obtenção de resultados e finalmente análise e interpretação. São vários os indicadores utilizados, assim como a sua associação aos aspectos ou efeitos e aos impactos ambientais, por exemplo, ao aspecto ambiental carreamento de partículas sólidas o indicador seria volume de partículas por unidade de tempo.

São encontrados na literatura diversos métodos para previsão dos impactos, entretanto, não existe um método padrão, sendo importante a avaliação das condições particulares de cada projeto para escolher um método ou integrar dois ou mais métodos. Sanches (2008a) destaca cinco grandes categorias de métodos preditivos:

- Modelos Matemáticos, mais utilizados para fenômenos físicos, proporcionando a simulação de diferentes cenários, muito utilizado na análise de impactos na qualidade do ar;
- Comparação e extrapolação, a partir de situações análogas, com múltiplas aplicações, como no caso de previsão do aumento da taxa de desmatamento atribuíveis aos novos projetos extrapolados de observações de rodovias, através da modelagem do desmatamento passado associado às rodovias, montagem de cenários de situação futura e de um banco de dados georeferenciados e a extrapolação das tendências do passado.;
- Experimentos de laboratório e de campo;
- Simulações e Modelos análogos (físicos, digitais);
- Julgamento de Especialistas, baseado na experiência de especialistas para emitirem estimativas sobre a probabilidade de ocorrência de impactos.

Em estudo para elaboração dos mapas de risco de erosão na microbacia do ribeirão Itambi (SP) pertencente à bacia do Aguapeí, gerenciado pelo CBH-AP, Fujihara (2002) utilizou modelos derivados da Equação Universal de Perdas de Solos - EUPS ou USLE e como ferramentas os recursos do geoprocessamento, especificamente o SIG, que permitiu a simulação e análise de diversos cenários.

Prever impactos no processo de avaliação traz certas incertezas que podem ser sanadas com o monitoramento e acompanhamento, quando podem ser

definidas medidas corretivas. Gallardo (2004) destaca a importância da etapa de acompanhamento ambiental cuja ausência levaria a afirmar que seguramente impactos significativos não seriam minimizados, medidas apropriadas para redução de impactos não seriam detalhadas e ações e impactos não-previstos não seriam verificados.

A escolha dos múltiplos critérios de avaliação da importância dos impactos encontrados na literatura leva aos diversos tipos de classificação, sendo fundamental a magnitude ou intensidade, bem como atributos citados na Resolução CONAMA nº 01/86 – impactos diretos ou indiretos, benéficos ou adversos, imediatos, a médio ou longo prazo, temporários ou permanentes, reversíveis ou irreversíveis e outros variados que, conforme Sánchez (2008a), podem ser organizados por métodos de agregação, seja por Combinação de Atributos, Ponderação de Atributos – exemplo Método de Batelle e Análise por Critérios Múltiplos.

Consta na Instrução de Serviço Ambiental - ISA-06 do DNER (1996), atual DNIT, quadro de identificação de impactos significativos da fase de projeto citando “erosões/assoreamento...”, associada a prováveis causas as “alterações no uso do solo das bacias de contribuição” entre outras, apresentando como recomendações e/ou medidas mitigadoras o “detalhamento geotecnológico de cada bacia e o estabelecimento de prognóstico do uso do solo das bacias de contribuição”. Estes impactos permanecerão na fase de operação das rodovias causados pela ocupação das respectivas áreas de influência e deverão ser monitorados. Assim, as medidas recomendadas devem contribuir para a tomada de decisão sobre a alternativa de traçado mais adequada juntamente com outros parâmetros de relevância ambiental, de engenharia e sócio-econômicas.

2.3.2 Áreas de Influência de Empreendimentos Rodoviários

Bellia e Bidone (1993) alertam que a distribuição dos impactos das rodovias tem características muito mais amplas do que os impactos dos outros meios de transporte, recomendando faixas de 30 a 100km para área de influência indireta, de acordo com a sua função, seja vicinal, alimentadora ou troncal. Ainda destacam que os impactos para área de influência direta envolve no mínimo a faixa de domínio da estrada e as microbacias de drenagem, até 1,5 - 2km de afastamento do eixo.

Lisboa (2002) concluiu em sua tese que “as áreas lindeiras às rodovias sofrem grande pressão de ocupação, daí a importância da decisão quanto ao tipo de área mais favorável para a futura rodovia atravessar”.

No estado do Tocantins considerado como Área de Fronteira Econômica, Bellia e Bidone (1993) consideraram que em uma classificação que leva em conta que os impactos ambientais de uma rodovia, estes são refletidos principalmente na área de influência indireta, preconizando como área crítica de riscos potenciais do ponto de vista ambiental e socioeconômico.

Em estudo realizado no estado do Acre, Amazônia Legal, Perez (2007) analisando o desenvolvimento do desmatamento em dois municípios, concluiu que as vias de acesso são um facilitador do processo de desmatamento, verificou também que o desmatamento segue as linhas das rodovias e em um dos casos no formato de espinha de peixe. A mesma autora acrescenta que 80% da área desmatada do município de Rio Branco estão a no máximo 1000m da rodovia, porém a pesquisa foi limitada somente a faixas de 500 e 1000m quanto ao desmatamento.

Através de técnicas de regressão logística Mendes, Carlos B, et al. [200-] elaborou cenários futuros para ordenamento de mudanças do uso do solo para uma ferrovia, empreendimento linear que como as rodovias, geralmente tem a área de influência direta definida em faixas lineares ao longo do eixo principal, apresentando inovações com a apresentação de cenário mais realista. No trabalho “a premissa básica utilizada é que a bacia hidrográfica surge como unidade ambiental de planejamento mais apropriada, pois recebe diretamente todos os impactos decorrentes de alterações de uso do solo...”. Destaca-se ainda que o efeito é maior quando for associado às partes altas das bacias, locais preferenciais de construção das rodovias, os divisores de águas, pois a bacia é considerada um mecanismo de transporte de problemas de montante a jusante.

Em estudos de impactos ambientais de rodovias mais recentes predomina a prática de indicação da área de influência indireta em forma de faixa linear na margem esquerda e direita do eixo da estrada, cita-se os casos das rodovias federais: BR-163/PA e BR-230/PA – faixa de 2 km para AID e 50 km para All no caso do meio físico e biótico, para as atividades humanas foram considerados os municípios interceptados, as zonas de produção de soja e o município de Santarém; BR-010/TO – faixa de 5 km, incluindo as áreas de apoio para AID e os municípios resultantes da sobreposição das bacias hidrográficas e os municípios interceptados para All; BR-

242/TO – municípios interceptados para AID e ; BR-235/TO – faixa de 2,5 km para AID e faixa de 5km para All nos meios físico e bióticos, no caso do meio antrópico os municípios interceptados ; Duplicação da BR-153/GO – 2 km para o meio físico e 3km para o meio biótico e socioeconômico para AID, e os limites dos municípios interceptados para o meio físico acrescidos dos municípios com limites próximos às rodovias para All; na BR-381/MG – 2km para AID, 5km de All para o meio biótico e os limites municipais daqueles interceptados para o meio antrópico., finalmente para o meio físico considerou “os limites das sub-bacias hidrográficas contíguas do empreendimento.”, único caso registrado.

Assim, são muitos os questionamentos sobre os limites da área de influência das rodovias, comuns em Audiências Públicas ou outros fóruns de debate com participação popular, a exemplo do Relatório do Encontro BR-163 Sustentável (ISA et al., 2005), que mediante a identificação de problemas como a destruição de matas ciliares e impactos sócio-ambientais sobre o seu traçado e adjacências destacam a importância de preservar a integridade dos recursos hídricos e incorporar o conceito de “bacias hidrográficas como unidade de planejamento, como forma de suprir a necessária espacialização da discussão em torno do desenvolvimento sustentável”. Foram incorporadas questões como a proteção das nascentes do rio Xingu, Araguaia e Teles Pires, sendo proposta a criação de Comitês de Bacias Hidrografias.

2.3.3 Bacias como Unidade de Planejamento para AIA.

No Brasil, a bacia hidrográfica é reconhecida como unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos hídricos, consiste num importante passo dado pela Lei 9.433/1997 uma vez que este recorte territorial possibilita a relação direta com as questões econômicas, sociais e ambientais da população que a integra (BRASIL, 1997).

Lanna (1995), ao analisar a complexidade do gerenciamento de bacia hidrográfica, considera que deve dominar o conceito integrador do sistema como um todo para que a análise de cada parte da bacia faça sentido. O mesmo autor ressalta como vantagem desta consideração, “a rede de drenagem de uma bacia consiste num

dos caminhos preferenciais de boa parte das relações causa-efeito, particularmente aquelas que envolvem o meio hídrico".

Consta na Instrução de Serviço Ambiental - ISA-06 do DNER (1996), atual Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT, quadro de identificação de impactos significativos da fase de projeto citando "erosões/assoreamento...", associada a prováveis causa as "alterações no uso do solo das bacias de contribuição" entre outras, apresentando como recomendações e/ou medidas mitigadoras o "detalhamento geotecnológico de cada bacia e o estabelecimento de prognóstico do uso do solo das bacias de contribuição". Estes impactos permanecerão na fase de operação das rodovias causados pela ocupação das respectivas áreas de influência e deverão ser monitorados. Assim, as medidas recomendadas devem contribuir para a tomada de decisão sobre a alternativa de traçado mais adequada juntamente com outros parâmetros de relevância ambiental, de engenharia e sócio-econômicas.

Mendes (2005)a em Relatório Final no Projeto Sistema de Apoio à Decisão – SAD para o Programa Nacional do Meio Ambiente – PNMA II, recomenda a "adoção de bacias hidrográficas como unidade de licenciamento ambiental", efetuando em uma das etapas da análise dos processos ambientais em bacias o uso de modelagem de produção e transporte de sedimentos. A produção de sedimentos foi elaborada com base em modelo para estimativa de perda de solo, ou seja, a Equação Universal de Perdas de Solos (USLE – *Universal Soil Loss Equation*), de acordo com proposta de Wischmeier e Smith (1978). Ainda considerou-se a transferência de sedimentos em movimentação lateral, associando-se a USLE a uma taxa de transferência denominada de Relação de Distribuição de Sedimentos (SDR).

De fato, a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento possibilita a integração de usos e a resolução de problemas que têm múltiplas causas e que extrapolam os limites administrativos municipais, como a poluição de um corpo hídrico, que tem entre suas causas o padrão de uso e ocupação do solo na área da bacia hidrográfica e em toda área de influência desta.

Neste sentido, o conceito de Bacia Hidrográfica tem sido cada vez mais expandido e utilizado como unidade de gestão na área de planejamento ambiental. Tendo em vista que o seu conceito, quando aplicado a gestão das águas, estende as barreiras políticas tradicionais de planejamento e gerenciamento, desenvolvimento econômico e social em uma unidade física.

2.3.4 Equação Univesal da Perda de Solo e SDR na avaliação de Bacias

A aplicabilidade da USLE com uso de SIG para grandes áreas foi verificada por Farinasso *et al.* (2006) em avaliação qualitativa do potencial de erosão na região do Alto Parnaíba, possibilidade que ocorre na fase de estudo de implantação de projetos rodoviários.

A equação da perda de solo desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978) exprime a ação dos principais fatores que influenciam a erosão pela chuva, atualmente, um dos modelos de predição de erosão hídrica mais utilizado a nível mundial, sendo expressa por:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

A = perda de solo calculada por unidade de área, t/ha.ano;

R = fator de erosividade da chuva e *run-off*, tm/ha.mm/h;

K = fator de erodibilidade do solo, tmh/ha.mm;

L = fator comprimento do declive (adimensional);

S = fator grau do declive (adimensional);

C = fator uso e manejo de culturas (adimensional);

P = fator práticas conservacionistas (adimensional).

Os fatores que afetam a perda de solo podem ser divididos entre aqueles que dependem de características naturais do meio físico (RKLS) e aqueles relacionados às formas de ocupação e uso do solo (CP).

O fator de erosividade (R), conforme Bertoni e Lombardi Neto (1985) indica a capacidade da chuva de provocar erosão em uma área sem proteção e uma das maneiras de se expressá-la é através da somatória das médias mensais do índice de erosão (EI) calculado por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) citado por Fujihara (2002), como segue:

$$EI = 89.823 \left(\frac{r^2}{P} \right)^{0.759} \quad (2)$$

Onde:

EI = erosividade média mensal do mês *i* (MJ mm.ha⁻¹ h⁻¹);

r = precipitação média mensal do mês (mm);

P = precipitação média anual (mm).

O fator erodibilidade do solo (K) é a sua vulnerabilidade à erosão, determinado por propriedades intrínsecas a ele, (a) velocidade de infiltração, permeabilidade e capacidade total de armazenamento de água; (b) resistência às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela chuva e escoamento. O seu valor é atribuído aos diferentes tipos de solo de ocorrência na região do estudo, expresso em tabelas de difícil elaboração efetuadas por Bertoni e Lombardi Neto (1985).

Quanto aos fatores comprimento e grau de declive associados, referem ao fator topográfico (LS) que relaciona a intensidade de perdas esperadas de solo em função do comprimento de rampa e da declividade, segundo Wischmeier e Smith (1978), sendo aplicada por Mendes (2005) através do Modelo Numérico do Terreno em SIG:

$$LS = \left(\frac{x}{22.13} \right)^n \times (65.41 \times \sin^2 \theta + 4.56 \sin \theta + 0.065) \quad (3)$$

Onde:

x = comprimento de rampa de escoamento;

θ = declividade do terreno;

$n = 0.5$ se $\theta \geq 4.5\%$

0.4 se $3 \leq \theta < 4.5\%$

0.3 se $1 \leq \theta < 3\%$

0.2 se $\theta \leq 3\%$

O fator cultivo e manejo do solo (C) tem sua base o mapa de uso dos solos, representa a razão entre as perdas de solo que ocorrem quando o este recebe uma dada cobertura e manejo, para as perdas que ocorrem quando o mesmo solo está descoberto. Foi estimado por Farinasso *et al.* (2006) o fator C através do nomograma segundo proposição de Wischmeier e Smith (1978).

Para o fator P que é a razão das perdas de solo sob uma dada prática conservacionista, Bertoni e Lombardi Neto (1985) propõem uma tabela com valores de 0.2 a 1 para cultivos com uso de práticas conservacionistas ou não.

Após a definição da equação USLE Mendes (2005), Usul (2002) associaram-na à taxa de transferência denominada de Relação de Distribuição de

Sedimentos (*Sediment Delivery Ratio* – SDR), proposto por Ferro e Minacapilli (1995) e Ferro (1997). Mendes cita que é possível “considerar a transferência de sedimentos de uma posição qualquer da bacia até o seu exutório[...]”, sendo a relação de aporte de sedimento é a razão entre a erosão total na bacia (A) e o aporte de sedimento(Y).

$$\boxed{SDR = \frac{Y}{A}} \quad (4)$$

Foi desenvolvida técnica de modelagem espacialmente distribuída utilizando SIG (FERRO e MINACAPILLI, 1995) através do conceito de tempo de deslocamento do escoamento para estimar a SDR, Ferro e Porto (2000) desenvolveram modelo de erosão espacialmente distribuído de remoção de sedimentos em uma bacia hidrográfica com base no conceito de tempo de deslocamento.

$$\boxed{SDR_i = \exp(-\beta t_i)} \quad (5)$$

Esta metodologia foi aplicada em bacias de pequenas dimensões, com tempos de concentração muito rápidos, sendo a escala de simulação da USLE anual, substituindo-se o t_i por d_i .

Para a obtenção do SDR, Miranda, Bastos e Tassi [200-] propôs a aplicação de três equações preconizadas anteriormente por Paiva (2003) porém observou grande variabilidade nos resultados (38, 39 e 50%) assim optou pela utilização de uma média dos valores:

$$SDR = 0,451.A^{-0,298} \quad (6)$$

$$SDR = 0,33.A^{-0,2236} \quad (7)$$

$$SDR = \frac{1}{\left(\frac{A}{2,69}\right)^{0,2}} \quad (8)$$

onde A é a área da bacia (Km²).

Para obter a SDR na Bacia do rio Potiribu - RS Souza et al. [sem data] fez uso de duas equações abaixo descritas, tem-se a (Equação 9) e a (Equação 10) que é

dependente da declividade do canal. Também obteve valores muito variáveis para o SDR 0,2122 na equação (9) e 0,062 na (10).

$$SDR = 0,42A^{-0,125} \quad (9)$$

onde A é dado em milhas quadradas.

$$SDR = 0,627SLP^{0,403} \quad (10)$$

onde SLP é a declividade do canal principal.

Assim, Mutua e Klik (2006) concluem que as estimativas de SDR que consideram somente a área como variável, mesmo recomendado no Manual da USDA não são adequados para grandes bacias, pois desconsideram fatores como uso e cobertura da terra, área da drenagem, declividade, comprimento da drenagem e propriedades dos solos.

No que se refere ao transporte de sedimentos e aos riscos de assoreamento dos cursos d'água, Catellani, Targa e Batista (2005), em artigo técnico sobre a proximidade de estradas vicinais à rede de drenagem em Taubaté (SP), após verificar que a maior densidade de vias encontrava-se na faixa entre 0 e 100m, alertou sobre a necessidade das rodovias pavimentadas como as vicinais ter minimizado o cruzamento com os recursos hídricos e locadas preferencialmente nas linhas de cumeada ou zona de escoamento superficial. Porém não definiu critérios de afastamento das rodovias, a não ser pela Área de Preservação Permanente – APP, prevista no Código Florestal e legislação pertinente.

Fujihara (2002) calculou o risco de erosão para uma bacia através de modelos derivados da Equação Universal de Perdas de Solos constatou que o índice de expectativa de erosão não é sensível a valores altos de Potencial Natural de Erosão – PNE. O PNE é expresso pelo produto do fator de erosividade da chuva (R), fator erodibilidade do solo (K) e fator topográfico (LS), não considerando os fatores de antrópicos. Os fatores antrópicos na USLE são o uso atual dos solos e a o fator de perdas de solo associados às práticas conservacionistas. O produto da USLE pelo uso potencial dos solos ou capacidade de uso do solo resulta em cenário futuro de produção de sedimentos.

A avaliação da capacidade de uso do solo é uma ferramenta técnica interpretativa no processo de planejamento e melhoramento dos sistemas produtivos. O uso potencial do solo classifica um grupo quantitativo de classes de solos sem considerar a localização e as esferas econômicas, políticas e sociais, considerando apenas as limitações permanentes dos solos quanto ao seu uso.

2.3.5. Otimização de rotas

Todo processo decisório, no contexto da avaliação de impactos ambientais demandam tentativas diversas de aplicação ou adaptação de ferramentas utilizadas em outras situações como a Análise por Critérios Múltiplos ou o uso de Sistemas de Informação Geográfica – SIGs.

Lisboa (2002a) aplicou o método de auxílio à tomada de decisão denominado Método de Análise Hierárquica ao estudo de alternativa de traçado de um trecho do rodoanel Mário Covas, na região metropolitana de São Paulo, desenvolvido por Thomas L. Saaty, na Universidade da Pensylvania, em 1978. O modelo baseia-se em uma estruturação hierárquica dos objetivos, critérios/indicadores e alternativas consideradas no estudo, tendo sido considerado a participação da sociedade e as questões sócio-ambientais, exigindo a opinião de diversos atores.

Sánchez (2008a p. 304 e 305) pondera que o formalismo matemático da aplicação da análise por critérios múltiplos na avaliação de impactos pode ser um dos fatores limitantes à sua aplicação. Este instrumento tenciona formalizar o processo decisório por meio de procedimentos de agregação das preferências dos tomadores de decisão. O mesmo autor cita:

Para comparar seis alternativas de um projeto rodoviário na Holanda, Stolp et al. (2002) usaram quatro diferentes “perspectivas”: a “humana”, a “dos cidadãos”, a “ecológica” e a técnico-econômica”. A perspectiva humana foi desenvolvida a partir de documentos governamentais, que estabelecem políticas de qualidade de vida. A perspectiva dos cidadãos foi construída com a técnica de avaliação dos valores dos cidadãos. A perspectiva ecológica foi baseada no trabalho da equipe do EIA, assim, como a perspectiva técnico-econômica. Um procedimento simples de critérios múltiplos foi desenvolvido para comparar as alternativas sob essas quatro perspectivas. Quatro temas e dez subtemas tratados no EIA receberam pesos diferentes segundo cada perspectiva; a soma dos pesos de cada subitem é sempre igual a 1.(...)

Eastman et al. (1993) citado Weber et al. [200-] afirma que a escolha de uma determinada região a ser contemplada com a construção de uma estrada é de caráter político, mas a decisão sobre o melhor traçado e outras características tem caráter eminentemente técnico, contribuindo para a introdução de aspectos técnicos relevantes, porém é crescente a participação pública, como também o peso dos dirigentes dos órgãos públicos (prefeitos, secretário de estado, governador) na definição do traçado.

Pilar (2003) em sua tese sobre sistema de apoio a decisão para otimização de traçados de obras de engenharia civil, incorporou a análise além dos atritos de cunho ambiental e econômico, o atrito político, que no caso referia-se a anseios dos setores políticos e também de imobiliárias.

Diversos autores utilizaram-se das ferramentas do geoprocessamento para definição de alternativa ótima, através do Idrisi, ArcGIS ArcInfo ou outros disponíveis, com a perspectiva de facilidade de uso (COLLISCHON, 1999; PILAR, 2003; TAKAHASHI, 2004).

2.4 Sistema de Informação Geográfica - SIG

O SIG é uma ferramenta de grande potencialidade no planejamento de projetos e na avaliação de impactos, sendo utilizado na seleção de traçados de projetos lineares, cujo procedimento envolve a atribuição de importância às diferentes variáveis mapeadas. Os critérios de adoção dos pesos devem atender a diferentes interesses, sendo, portanto difícil obter a unanimidade na equipe de avaliação. Cowen (1988) define o SIG como “Um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente num ambiente de respostas a problemas”

A aplicação do procedimento depende de cinco itens, comenta Sánchez (2008a): a escala adotada, a acurácia das informações temáticas de cada quadrícula, a escolha dos temas e a escolha das classes dentro de cada tema, os pesos atribuídos a cada tema e classe e os critérios de combinação dos atributos.

Através do uso de SIG e algoritmos de geoprocessamento, Paz e Collischonn (2008) derivaram a rede de drenagem da bacia do rio Uruguai, utilizando diferentes Modelos Numéricos do Terreno (MNT), considerando as ferramentas bastante ágeis na aplicação em bacias de grande porte.

Mendes e Cirilo (2001) destaca entre os exemplos de análise de informações espaciais, a integração do geoprocessamento com técnicas de otimização na definição de melhor traçado para construção de rodovias, como o Caminho de Mínimo Custo.

O uso de Sistema de Informação Geográfica – SIG e modelos hidrológicos de forma integrada foi preconizado por Mendes e Cirilo (2001); Mendes (2005) com o uso de Modelo Numérico do Terreno - MNT, como citado:

“todo processo de transferência (movimento) dos elementos do ciclo hidrológico, ao longo de bacias, está fundamentalmente baseado na utilização da topografia. O fluxo da água, sedimentos, poluentes, entre outros obedece às condicionantes topográficas como indicadores do caminho do movimento,(...)”

A partir do MNT são derivados produtos relacionados a bacias hidrográficas, obtidos a partir de operação de filtragem do MNT original, declividade, curvatura no plano e no perfil, sombreamento de MNT, direção de escoamento e remoção de depressões, área acumulada, delimitação automática de sub-bacias, avaliação da rede de drenagem e índice de saturação (MENDES E CIRILO, 2001).

Esta metodologia foi aplicada por Collischonn e Pilar (2000) para determinação de caminho de mínimo custo sobre um Modelo Numérico do Terreno (MNT), que pode ser utilizado para otimização do traçado de canal de irrigação, ou de um trecho de rodovia.

Em notas de aula, Collischonn (2008) destacou que em ambiente vetor os problemas de caminhos de mínimo custo, vem sendo estudadas e resolvidos há bastante tempo pela Pesquisa Operacional, que elaborou as técnicas de Programação Dinâmica e Redes de Fluxo entre outros. Ainda destaca que o algoritmo para encontrar o caminho de mínimo custo em ambiente “raster” separam o problema em três partes: (i) geração de um plano de custo de passagem; (ii) cálculo de um plano de custo acumulado até o fim do caminho a partir de um plano de custo de passagem; e (iii) percorre o plano de custo acumulado de um ponto de início até o ponto final do caminho.

Em uma avaliação para escolha do melhor traçado de uma linha de transmissão na África do Sul, Warner e Diab (2002) citado por Sánchez (2008a) cita a utilização do SIG e apontaram como vantagem “a possibilidade de simular diversos cenários de variar os pesos, simulando a valoração que diferentes interessados

podem dar aos atributos considerados (temas ou subtemas).” Após a montagem da base de dados georreferenciadas e a preparação dos mapas para os vários temas, “o SIG permite simulações rápidas”.

Foram utilizadas rotinas de apoio a decisão em SIG, do software IDRISI, em uma análise de alternativa de traçado de uma estrada no RS, Weber et al. [sem data], passando pela estruturação da base cartográfica digital, escolha dos critérios a serem utilizados para avaliação das alternativas, sendo eles ou de natureza técnica ou ambiental, sendo destacado como qualidade desta prática a agilidade e a visão não subjetiva do resultado. O critério ambiental eleito foi uso/cobertura atual do solo e como critérios técnicos foram utilizados os índices de rampa, largura e tortuosidade de cada trecho das estradas, distância total percorrida, sendo que a topografia regional e a geotecnia foram usadas como critérios finais de decisão.

Costa et al. (2007) comparou o uso das imagens SRTM para delimitação e caracterização fisiográfica de uma micro-bacia verificando a vantagem na geração de dados do modelo numérico do terreno hidrológicamente consistentes e a viabilidade de extração de variáveis físicas das bacias hidrográficas em menor intervalo de tempo.

A Embrapa Monitoramento por Satélite desenvolveu uma metodologia para gerar um novo produto de grande interesse para a sociedade brasileira. A base são os dados numéricos de relevo e da topografia do Brasil, obtidos pela nave espacial americana durante a missão conhecida como SRTM disponível no site da Embrapa. Estes dados apresentam resolução espacial de aproximadamente 90 m, originários da missão de mapeamento do relevo terrestre SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), desenvolvido pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) e NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) dos Estados Unidos no ano 2000.

3. METODOLOGIA DESENVOLVIDA

O estudo foi estruturado em torno das questões consideradas relevantes no auxílio à tomada de decisão em empreendimentos viários de modo a atingir os objetivos da avaliação de impactos ambientais, ou seja: assegurar que as considerações ambientais sejam explicitamente tratadas e incorporadas ao processo decisório; antecipar, evitar, minimizar ou compensar os efeitos negativos relevantes; proteger a produtividade e a capacidade dos sistemas naturais, assim como os processos ecológicos; e promover o desenvolvimento sustentável e otimizar o uso e as oportunidades de gestão de recursos (IAIA, 1999 *apud* SÁNCHEZ, 2008a).

A implantação de uma estrada, geralmente segue a orientação dos divisores de água. Estas rodovias induzem modificações no uso do solo nas regiões em desenvolvimento, podendo gerar processos erosivos que são observados através dos sedimentos carregados aos cursos d'água. Na maioria dos estudos ambientais estes impactos estão delimitados em faixas lineares – definidas como área de influência.

Esta metodologia propôs rever a delimitação da área de influência de projetos rodoviários, considerando efetivamente as bacias hidrográficas impactadas, no sentido de incorporar a questão ambiental aos demais fatores que se apresentam na tomada de decisão sobre a otimização de traçados.

A área de estudo foi delimitada considerando a ocupação potencial das bacias e as respectivas sub-bacias que podem vir a ser fatores de decisão na definição de traçado de um projeto de implantação e pavimentação de rodovia entre duas sedes municipais.

A definição do caminho ótimo para a implantação de uma rodovia deve considerar os aspectos ambientais, construtivos e socioeconômicos, aspectos estes variáveis conforme as expectativas dos diversos atores no processo de decisão sobre a melhor rota para uma rodovia. Entre os tomadores de decisão estão políticos, técnicos e a comunidade seja ela a beneficiária ou a impactada, que devem ter atendidas suas expectativas.

Os critérios e indicadores a serem avaliados são diversificados, envolvendo aspectos mensuráveis e outros mais subjetivos. Os impactos sobre os fatores ambientais solo e água da bacia são quantificados, através da inserção de temas de

restrição, com destaque para a previsão de produção e arraste de sedimentos nas bacias, para se fazer um prognóstico futuro da melhor alternativa de traçado para a rodovia ou o traçado mais otimizado.

Através do uso de ferramentas de Sistema de Informação Geográfica – SIG conhecidos como “caminhos de mínimo custo” ou *least cost path* os dilemas de decisão foram estruturados de acordo com cada uma das restrições ou atritos considerados relevantes na otimização de traçados rodoviários em regiões onde as estradas são indutoras de desenvolvimento.

Baseando-se na análise de um estudo de caso foi desenvolvida a pesquisa e a tentativa de comprovação da hipótese.

A proposta metodológica para execução deste trabalho é composta pelas seguintes fases:

- i. Escolha dos pontos de ligação – duas sedes municipais – decisão política;
- ii. Delimitação das bacias hidrográficas que poderão ser impactadas pelo empreendimento viário – área do estudo;
- iii. Aquisição dos dados analógicos e digitais para consubstanciar o trabalho e definição dos critérios e restrições a serem considerados na avaliação e níveis de classificação;
- iv. Aplicação do modelo matemático USLE – Equação Universal da Perda de Solos na quantificação das perdas de solo por bacias e a sua taxa de transferência - SDR;
- v. Pré-processamento e análise dos mapas de atrito por aspecto ambiental, construtivo e socioeconômico;
- vi. Aplicação da metodologia de caminho de mínimo custo, com simulação visual do melhor traçado para a obra rodoviária;
- vii. Análise e discussão do traçado resultante da rodovia e definição da área de influência - AI.

Para melhor visualizar a proposta metodológica, segue abaixo fluxograma ilustrado na Figura 1.

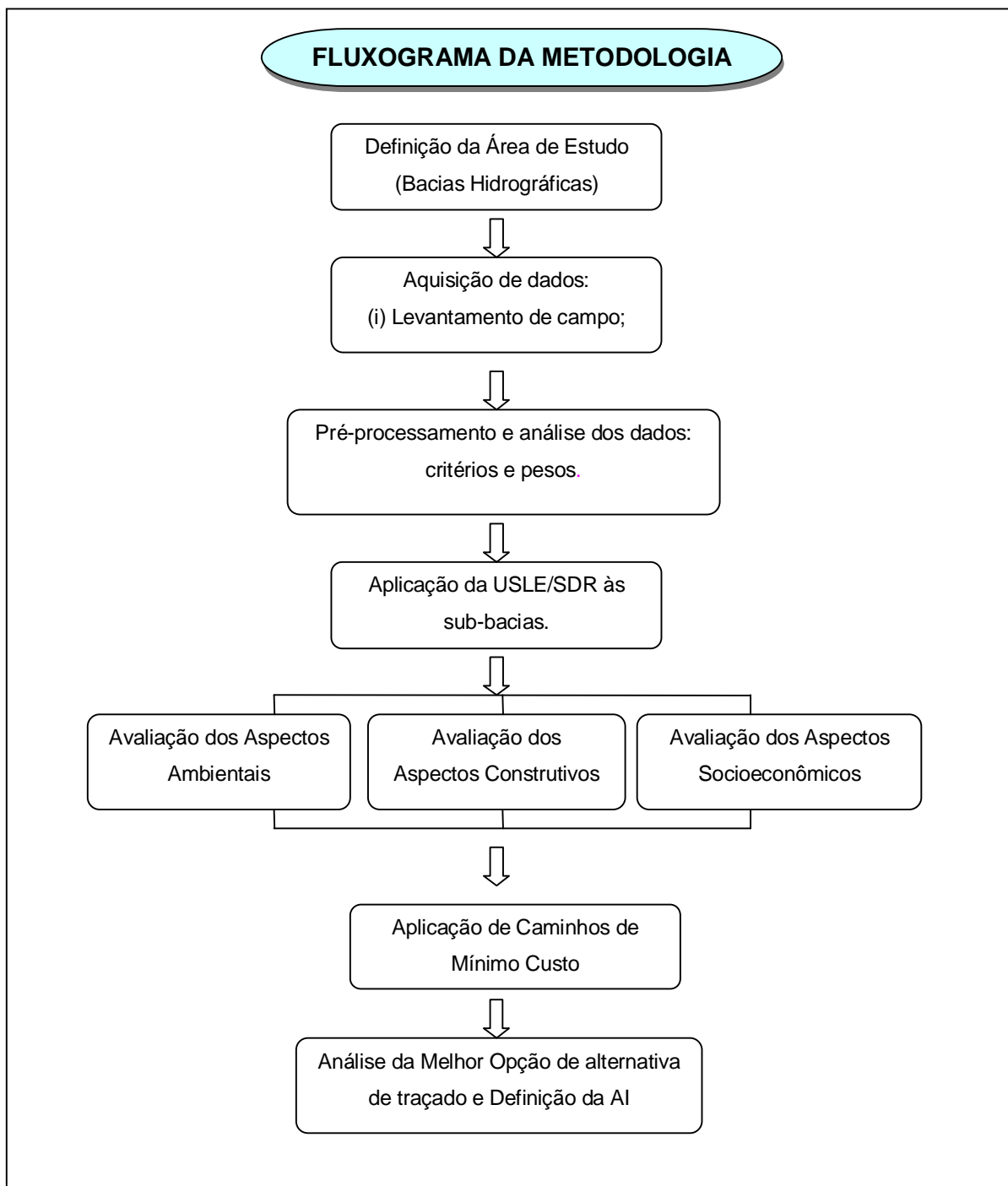


Figura 1. Fluxograma da metodologia.
Fonte: Dados da pesquisa, 2010.

3.1 Definição da área de estudo

A escolha de dois pontos a serem interligados, podem ser duas sedes municipais, dois pontos turísticos ou até mesmo duas rodovias pavimentadas são decisões políticas.

A área de estudo foi definida como as bacias em que estão inseridos os pontos a serem interligados (origem e destino).

O conhecimento da área de influência foi inicialmente delineado nesta etapa, através da definição da área de estudo considerando então a inserção da bacia hidrográfica. Conforme a escala trabalhada, foi necessária a divisão das bacias em sub-bacias, uma vez que estas possibilitam uma precisão maior. A escala de trabalho é definida pelo porte do empreendimento.

Estas áreas sofrerão os impactos advindos da construção da rodovia, diretamente pelas atividades de implantação e readequação, acrescidas das áreas de apoio, canteiro de obras, empréstimos laterais, caminhos de serviço e jazidas, assim como as indiretamente afetadas através da dinamização do desenvolvimento regional, pela modificação do uso do solo. A pavimentação de rodovias atua como força motriz de modificação do uso do solo, associada a fatores agroclimáticos é indutora de desenvolvimento e à conversão para uso agrícola (MENDES et al., [200-]).

3.2 Aquisição de dados

Nesta fase foram levantados os dados existentes que se relacionam com o caso de estudo, situação em que se insere a proposta do empreendimento viário.

Como a proposta deste estudo se insere na fase de planejamento, quando o projeto da rodovia ainda está sendo definido e os estudos ambientais ainda não foram realizados, foi efetuada atividade de coleta de dados de campo. Nesta etapa foram feitos levantamentos das características ou particularidades ambientais relevantes da área possível de inserção da rodovia, de modo a caracterizar o cenário atual quanto aos meios físico, biótico e socioeconômico e avaliar antecipadamente as conseqüências do projeto, denominada por Donnelly; Dalal-Clayton; Hughes (1998) citado por Lisboa (2002) como *Strategic Enviromental Impact Assessment (SEIA)*, ou Avaliação Estratégica de Impactos Ambientais.

- (i) Levantamento de dados de campo e dados secundários.

No levantamento de campo foram cadastrados com coordenadas geográficas de localização as sedes municipais a serem interligadas, os pontos de interesse turístico existentes e potenciais, atividades econômicas em desenvolvimento, as captações de água para abastecimento humano, os cursos d'água a serem interceptados enfim, todos aqueles que poderão contribuir para o conhecimento do potencial de desenvolvimento e as definições dos critérios e parâmetros do estudo. As áreas com restrição legal, como unidades de conservação nas esferas municipais, estadual e federal, Terra Indígena, Reservas Legais averbadas e outras áreas de interesse ecológico, porventura existentes também são cadastradas com localização e informações pertinentes. São efetuados reconhecimento e trilhas com posicionamento geográfico das estradas existentes com possível aproveitamento e adequação de traçado geométrico para a concretização do projeto rodoviário, bem como obras de arte (pontes e galerias) porventura construídas com aproveitamento na pavimentação da rodovia.

Para o levantamento de campo utilizam-se os equipamentos que seguem: aparelho receptor GPS (Global Positioning System) de navegação, máquina fotográfica digital e notebook.

Foram utilizados dados temáticos georeferenciados disponíveis gratuitamente no site da Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente do Estado do Tocantins – TOCANTINS (2008) e no Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Tocantins (TOCANTINS, 2009).

Utilizou-se as imagens SRTM para obtenção de dados topográficos, obtidas em site da Embrapa.

A sub-bacias que compõem a área de estudo foram obtidas na base de dados do SEPLAN (TOCANTINS, 2008).

A disponibilização de dados digitais como seguem descritos é de utilidade para a entrada e parametrização no uso da ferramenta proposta:

- Dados de precipitação média mensal e anual, de postos pluviométricos que atendem as bacias interceptadas, obtidos junto ao sistema HidroWeb do site da Agência Nacional de Águas;
- Mapa de cobertura e uso da terra (TOCANTINS, 2008);
- Mapa de potencialidade de uso da terra (TOCANTINS, 2008);
- Mapas de solos (TOCANTINS, 2008);

- Mapa de declividade (TOCANTINS, 2008);
- Mapa de unidades de conservação e áreas protegidas (TOCANTINS, 2008);
- Mapa de hidrografia (TOCANTINS, 2008);
- Mapa de sub-bacias (TOCANTINS, 2008)
- Mapa rodoviário (DERTINS, 2008);
- Imagem orbital do Sensor a bordo do satélite CBER 2, com características: resolução espectral 8 bits, resolução espacial 20 m, ano 2005, disponível no site do Naturatins (2009);
- Imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) no formato: GEOTIFF (16 bits), resolução espacial de 90 metros, Sistema de Coordenadas Geográfica, datum: WGS-84, disponível no site da Embrapa (MIRANDA, 2005);
- Dados cadastrais de órgãos públicos correlacionados e diagnósticos resultados de consultorias.

3.3 Pré-processamento e análise de dados

3.3.1. Critérios, restrições e grau de penalização

O uso de sensoriamento remoto combinando SIG com algoritmos em ambiente raster já foi utilizado por diversos autores, na definição de caminhos ótimos, apresenta como vantagem a combinação de uma variedade de temas e informações.

Os critérios relevantes à definição do traçado de uma rodovia foram divididos em três: (1) aspectos ambientais, (2) aspectos construtivos e (3) aspectos socioeconômicos, conforme experiência própria da pesquisadora e consultas a técnicos especializados da área rodoviária e ambiental e outros tomadores de decisão. Estes por sua vez foram subdivididos em temas de restrição como segue:

Quanto ao aspecto ambiental, buscando reduzir ou minimizar os impactos de acordo com sua vulnerabilidade propõe-se a elaboração de mapa de atrito considerando os temas que seguem:

- Uso/cobertura do solo – diversas restrições que são impostas devido ao uso do solo como travessia de áreas com vegetação nativa que serão desmatadas, áreas urbanas que serão desapropriadas e população reassentada, áreas rurais antropizadas por pastagem,

cultivos com agricultura ou reflorestamento que serão desapropriadas e suprimidas;

- Unidades de conservação / áreas protegidas – de acordo com a categoria e restrições do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC e Sistema Estadual de Unidades de Conservação; e outras áreas protegidas previstas em lei como Terra Indígena, Corredores Ecológicos e Reserva Legal;
- Bacias e sub-bacias - a produção e transporte de sedimentos em cada unidade hidrográfica – conforme relação de aporte de sedimentos – através da aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo - USLE como proposto por Wischmeier and Smith (1978) e Relação de Aporte de Sedimentos;
- APP - Nascentes – restrição à travessia de Área de Preservação Permanente do entorno das nascentes – APP de 50 m e zona tampão para proteção dos cursos d'água – traduz a preocupação com a proximidade de obras rodoviárias a cursos d'água, reduzindo assim o efeito do carreamento dos sedimentos e a instalação de rodovias em áreas de mata ciliar, conforme legislação federal.

Quanto ao aspecto construtivo, foram considerados fatores topográficos, dificuldade construtiva e operacional que afetam o desenvolvimento da rodovia:

- Declividade – a rampa máxima ascendente ou descendente é definida conforme a classe da rodovia, portanto a declividade foi dividida em classes, sendo projetados níveis crescentes de atrito acima da declividade de rampa prevista na classe da rodovia;
- Obras de arte correntes ou especiais – os cursos d'água são transpostos por pontes, bueiros celulares ou tubulares, dimensionados conforme estudo hidrológico. É verificado que quanto maior o porte dos cursos d'água maior a

dificuldade na execução das obras de travessia. Neste tema foram adotadas níveis de restrição conforme área de formação de drenagem da bacia (TOCANTINS, 1994);

Quanto aos aspectos socioeconômicos: atendimento a questões políticas e/ou sociais relacionadas à apoiar projetos governamentais ou privados em desenvolvimento ou pequenas comunidades específicas.

- Pontos turísticos que serão beneficiados com a implantação da rodovia – o objetivo é aproximar a rodovia aos pontos de relevância para o projeto, visando desenvolver a região, podendo ter motivações diversas em outras situações;

Para definição do grau de penalização foi adotada uma escala de 1 a 10, com situação mais conveniente, pontuação 1 e situação menos conveniente 10, conforme proposto por Pilar (2002) em desenvolvimento de sistema de apoio a decisão de traçados em obras de engenharia civil, exposto no gráfico 01.

Foi definida a pontuação 1000 para barreira absoluta de restrição, áreas que tem a passagem vedada para implantação da rodovia. Weber e Hasenack (1998) definiram o custo de passagem para gasoduto ligando as cidades de Sinimbu e Barros Cassal (RS) e utilizaram 1000 para restrição máxima.

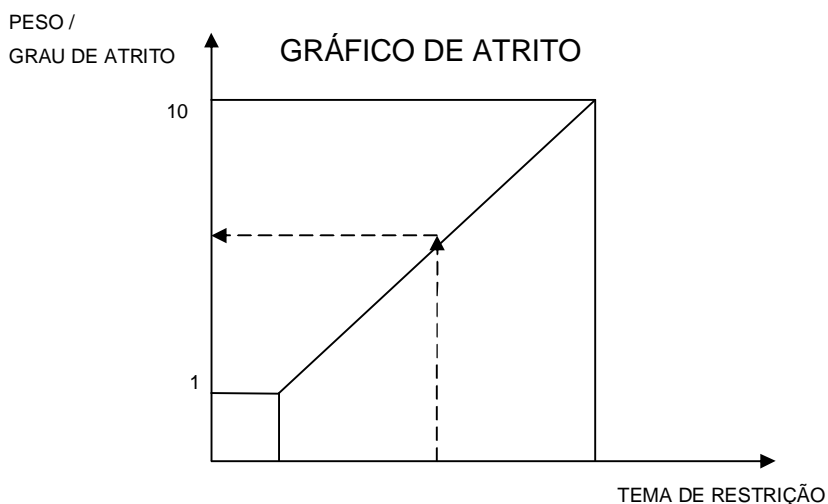


Gráfico 01. Associação dos temas de restrição ao grau de atrito.
Fonte: Pilar (2002).

A proposta aplicada no estudo para os níveis de restrição em cada tema seguiram os graus de penalização conforme apresentado tabela 1.

TABELA 1.
Níveis de restrição à pavimentação da rodovia e respectivos graus de penalização.

Nível de restrição	Grau de penalização
Nenhum	1
Baixo	2 e 3
Médio	4 e 5
Alto	6 e 7
Muito Alto	8 e 9
Excessivo	10
Barreira Absoluta	1000

Fonte: Pilar, 2002 e Weber e Hasenack, 1998.

3.3.2. Preparação dos mapas de atrito

Para cada tema de restrição foi produzido um mapa de atrito em formato raster. A preparação dos dados para uso no modelo segue as operações abaixo:

- Análise de consistência dos dados pontuais (hidrológicos e climatológicos);
- Conversão de coordenadas geográficas (LAT/LONG) para planas (UTM) e uniformização da base cartográfica utilizando projeção UTM e DATUM South American 1969 – SAD 69;
- Utilização dos mapas de uso do solo, declividade, unidades de conservação e áreas protegidas, hidrografia, sub-bacias, e pedologia (TOCANTINS, 2008), além de rodovias (DERTINS, 2008);

Seguem-se as operações em Sistema de Informação Geográfica – SIG que harmonizaram e organizaram os dados para a simulação ambiental:

- Processamento em Modelo Numérico do Terreno – MNT;
- Preenchimento das depressões;
- Sobreposição e reclassificação de mapas;

- Calculadora de mapas.

O tamanho do pixel padronizado foi 10mx10m considerando as restrições que foram colocadas. Porém, com o uso de imagens SRTM o pixel está definido em 90mx90m.

ASPECTOS AMBIENTAIS

(i) Mapa de atrito para uso do solo

Através do mapa de uso do solo, foi elaborado o mapa de atrito do uso do solo. Inicialmente foi efetuada a reclassificação com agrupamento dos indicadores de uso do solo em usos com semelhança de restrição. Seguiu-se a operação de reclassificação. É preferível que os traçados projetados desenvolvam-se sobre áreas desocupadas, evitando desapropriações de residências e reassentamento das famílias. Foram atribuídas penalizações crescentes para a cobertura vegetal, conforme adensamento por tipologia.

(ii) Mapa de atrito de unidades de conservação / áreas protegidas

A travessia em nível de unidades de conservação – UC deve ser minimizada, visando reduzir os impactos sobre a fauna e flora. A operação do ArcGIS ArcInfo de reclassificação foi utilizada no mapa de unidades de conservação. O Sistema Estadual de Unidades de Conservação da Natureza - SEUC – instituído pela Lei estadual 1560/2005 e o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC – instituído pela Lei federal Nº 9985/2000 prevêm a restrição de uso, dividindo as UC's em dois grupos: Unidades em Proteção Integral e Unidades de Uso Sustentável.

No primeiro estão inseridas a Estação Ecológica, Parques, Monumento Natural, Reserva Biológica e Refúgio de Vida Silvestre. No grupo das unidades de uso sustentável estão as categorias Área de Proteção Ambiental – APA, Área de Relevante Interesse Ecológico - ARIE, Floresta Nacional, Reserva Extrativista, Reserva de Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável, Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN, Rio Cênico e Estrada Parque.

As Unidades de Conservação, exceto APA e RPPN, ainda possuem zona de amortecimento das áreas, conforme previsto na Lei 9.985/2000 – SNUC, acrescida

da restrição a atividades que possam afetar a biota num raio de 10km de qualquer UC, sendo obrigatória a autorização do Instituto Chico Mendes da Conservação da Biodiversidade – ICMBio ou Naturatins, citado na Resolução CONAMA 13/1990.

Ainda foram consideradas áreas protegidas as Terras Indígenas, de acordo com as restrições impostas pela legislação federal - Estatuto do Índio – Lei 6001/1973. Outras áreas como existência de Reserva Legal, também pode ser avaliada, porém não aplicado ao caso, pois não há interceptação desta categoria de área protegida.

(iii) Mapa de atrito das APP's de nascentes e zona tampão dos cursos d'água

As Áreas de Preservação Permanente somente podem ser suprimidas em caso de utilidade pública, onde se enquadram as rodovias. As APP's das nascentes são definidas e protegidas conforme legislação federal Lei 4.771/65 que instituiu o Código Florestal e a Resolução CONAMA 303/2002.

Assim, considerando estudos anteriores que comprovam o nível alto de impactos de rodovias nas nascentes (GALLARDO, 2004) neste trabalho foi vedada a passagem nestas áreas. O procedimento adotado compreendeu o uso do mapa de hidrografia (TOCANTINS, 2008), inicialmente com a marcação de todas as prováveis nascentes e a marcação de um buffer de 50m, considerada área da APP das nascentes. Prosseguiu-se com a adoção de buffer de 100m para zona tampão ideal para instalação das rodovias.

Foi verificado em simulações em SIG para eficiência de diferentes larguras de mata ripária na retenção de escoamentos superficiais, por Simões (2001), que o afastamento de 100m dos cursos d'água para zona tampão alcançou eficiência máxima de 90,18%, para picos de escoamento nas condições mais críticas na área estudada. Apesar da recomendação do Código Florestal de largura mínima de 30 m para cursos d'água de até 10m, a eficiência foi 32,40% nas mesmas condições. Sendo que a partir de um ponto os ganhos em eficiência não correspondem ao incremento da largura, verificado também para redução de sedimentos por McKague et al. (1996) citado por Simões (2001). Assim, propôs-se a marcação de buffer de 100m nos cursos d'água e a restrição excessiva para implantação de projetos rodoviários nesta área.

(iv) Mapa de atrito das sub-bacias

Dentre os aspectos ambientais foi avaliada a produção e arraste de sedimentos que se optou pela abordagem em um subitem específico, considerado o aspecto principal da pesquisa.

ASPECTOS CONSTRUTIVOS**(v) Mapa de atrito de obras de arte**

A transposição de cursos d'água é prevista em projeto através de obras de arte especiais (pontes) ou obras de arte correntes (galerias e bueiros) considerada como fator de restrição ao desenvolvimento construtivo da obra rodoviária. Este indicador foi medido através do porte, pois quanto maior o curso d'água, maior ou mais complexa a obra de arte.

Para o dimensionamento das obras de arte nas drenagens, obtêm-se as vazões aplicando diferentes metodologias de acordo com a área de contribuição, associando-se a área de contribuição das bacias, classificadas conforme Norma de Projeto – NP-03/92 do Dertins. Assim, pode-se prever que a dificuldade construtiva e o custo econômico são crescentes conforme a definição do tipo de obra de arte a ser implantada, apesar de variações específicas de cada situação.

(vi) Mapa de atrito de gradiente de rampa

O desenvolvimento construtivo de uma rodovia deve seguir a norma relacionada a rampa máxima a ser projetada, conforme a classe da rodovia. Uma vez definida a rampa máxima permitida 10%, o esforço construtivo foi avaliado através do mapa de declividade, em formato raster, definindo como nenhuma restrição construtiva as áreas com declividade igual ou inferior à permitida. A partir desta as classes e suas associações recebem valores crescentes de grau de penalização.

ASPECTO SOCIOECONÔMICO

Associada à necessidade de ligar dois pontos, no caso duas sedes municipais foi considerado como importante para o desenvolvimento regional o incremento ao turismo.

(vii) Mapa de atrito dos pontos turísticos

A decisão sobre o melhor traçado para uma rodovia a ser pavimentada necessita incorporar vários anseios políticos ou socioeconômicos, seja do representante político ou da comunidade representada, que podem ser a aproximação com determinado projeto governamental ou privado, a aproximação de determinado povoado, vila ou vilarejo entre os pontos a serem interligados ou o atendimento a determinada micro-região por seu caráter produtivo instalado ou potencial econômico.

A existência de infraestrutura foi descrita como fundamental para apoiar o desenvolvimento turístico, com destaque para o sistema viário como fator de promoção do desenvolvimento socioeconômico e expansão do turismo, Beni (1998).

Neste estudo foi considerada a necessidade de aproximar a rodovia pavimentada do acesso aos pontos turísticos visando incrementar o turismo regional e a sua acessibilidade.

3.4 Avaliação da geração e aporte de sedimentos nas sub-bacias

Este tema de restrição está inserido na categoria relacionada ao Aspecto Ambiental, porém foi dada ênfase nesta parte da metodologia, pois traduz um indicador a ser incorporado nos estudos ambientais para a definição da área de influência de um projeto rodoviário a ser implantado. As características de quantidade e qualidade dos sedimentos transportados em uma sub-bacia hidrográfica representa a sua relevância quanto ao planejamento do seu aproveitamento ou viabilidade de implantação de uma rodovia incrementadora dos processos de ocupação do uso do solo, como projetos agropecuários ou florestais.

Nesta etapa de simulação ambiental, foi testada uma estrutura de modelagem que integra o SIG e modelos para estimativa da perda de solos, dividida em: primeira fase – Balanço Vertical; posteriormente, a segunda fase denominada

Movimentação Lateral associada ao transporte de sedimentos se traduz na associação da USLE ao emprego de uma taxa de transferência denominada de Relações de Distribuição de Sedimentos - SDR.

A equação da perda de solo desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978) exprime a ação dos principais fatores que influenciam a erosão pela chuva, sendo expressa pela equação (1) e aplicada conforme as especificações das equações (2), (3) e (4), ambas citadas anteriormente.

Este método de integração propõe a divisão da bacia hidrográfica em partes menores (células ou *pixels*) para o cálculo das propriedades físicas. “O conjunto de células estabelece a conexão entre as células, basendo-se no MNT. Uma linha de fluxo é estabelecida, escoada de célula para célula (MNT) e o hidrograma (e/ou carga de sedimentos) é calculado no exutório da bacia.” (MENDES, 2005a).

Assim, uma vez produzida a carga de sedimentos por células, bem como a capacidade de transporte de cada célula a drenagem mais próxima, é possível avaliar cada sub-bacia da bacia principal.

3.4.1 Estimativa da produção de sedimentos (balanço vertical) pela Equação Universal de Perdas de Solo – USLE

Para determinar a estimativa da produção de sedimentos foi necessária a produção de arquivos em formato matriciais ou *raster* e aplicação do modelo paramétrico proposto abaixo descrito:

1. Mapa de erosividade das chuvas;
2. Mapa de erodibilidade dos solos;
3. Mapa do fator topográfico – LS;
4. Mapa de uso e manejo do solo.

Seguindo a proposta de Fujihara (2002) foi calculado o Potencial Natural de Erosão – PNE que contempla os fatores dependentes das condições naturais: R, K e LS.

O fator erosividade da chuva (R) foi determinado para cada posto ou estação pluviométrica, de acordo com Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) citado por Fujihara (2002) na equação (2).

Após a identificação dos postos ou estações pluviométricos nas proximidades da área de estudo no *hidroweb* do *site* da ANA, foi obtido cada fator R

através da aplicação da equação em planilha Excel, e obtenção do mapa de erosividade com a interpolação pelo inverso da distância dos pontos calculados, através da opção do ArcGIS ArcInfo: *Spatial Analyst – Interpolate to Raster – Inverse Distance Weighted*.

O fator erodibilidade do solo (K) que representa a resistência do solo à erosão, estimado por métodos indiretos, através do reagrupamento das classes e associações do mapa de pedologia (TOCANTINS, 2008) foi efetuada a reclassificação aplicando o fator de erodibilidade determinado em nomograma de Wischmeier (1971) citado por Farinasso *et al.* (2006), ambas as operações foram feitas no ArcGIS ArcInfo, através da operação: *Spatial Analyst – Reclassify*.

O fator topográfico (LS) afeta diretamente o desprendimento das partículas do solo, bem como o carreamento dos sedimentos, que estão correlacionados com o comprimento de rampa e declive, foi obtido através do uso das imagens SRTM extraídas do site da Embrapa Monitoramento por Satélite: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/to/to.htm>, articulação compatível para escala 1:250.000, utilizando ferramentas do ArcGIS ArcInfo.

Os fatores relacionados à forma de ocupação C e P foram determinados, considerando um possível cenário futuro, ou seja, a rodovia indutora do desenvolvimento regional permitirá a ocupação das bacias e sub-bacias, conforme o potencial de uso do solo ou capacidade de uso previsto no Zoneamento Ecológico Econômico do Estado.

O fator de cultivo e manejo do solo (C) é a relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno descoberto e cultivado. Considerou-se, então, que a ocupação futura respeitará as indicações de potencial de uso da terra efetuado pelo Zoneamento Ecológico Econômico da SEPLAN.

Assim, o fator C foi obtido considerando o cenário de ocupação, determinado através da reclassificação do mapa de Potencial de Uso da Terra (TOCANTINS, 2008), utilizando no ArcGIS a operação de Reclassificação a partir de valores compilados de diversos autores.

Para o fator práticas conservacionistas (P), relacionados aos métodos de conservação aplicados, foi utilizado o valor 1,0 que se refere à preparo e plantio morro abaixo, considerando que não serão adotadas práticas conservacionistas.

3.4.2 Aporte de Sedimentos (Movimentação Lateral)

Nem todo sedimento produzido na Bacia efetivamente atinge a calha do rio, a SDR - *Sediment Delivery Ratio* ou “taxa de entrega de sedimentos” é a representação da quantidade de sedimentos produzidas que ficam retidas nas depressões, grotas, pré-encostas, vegetação ciliar entre outros locais.

Segundo proposto por Ferro e Minacapilli (1995) e Ferro (1997) o SDR_i corresponde a fração de produção de sedimentos para célula i , conforme a estrutura do banco de dados deste trabalho, foi definido como:

$$SDR_i = \exp(-\beta t_i) \quad (5)$$

Onde:

β é um parâmetro que representa a morfologia da bacia, assumindo-se o valor igual a 1 (MUTUA E KLIK, 2006, JAIN, 2000);

t_i é o tempo de deslocamento ao longo da linha de escoamento

A. Obtenção do aporte de sedimentos com o uso do tempo de deslocamento como segue na equação (11).

$$t_i = \sum_{m=1}^{M_j} \frac{L_m}{V_m} \quad (11)$$

Para a estimativa da velocidade, a fórmula de Chézy, com coeficiente de Manning é a mais utilizada, tendo sido experimentada em canais de pequenas e grandes dimensões para projetos e obras construídas. A aplicação da equação de Manning também é aplicável ao escoamento superficial verificado por Fleckenstein (1998) e Usul (2002).

$$V = C \sqrt{R_h S} \quad (12)$$

Onde:

C: coeficiente de Chézy;

R_h : raio hidráulico (m);

S: declividade (m/m).

Manning propôs:

$$C = \frac{R_h^{\frac{1}{6}}}{n} \quad (13)$$

Onde: n é o coeficiente de Manning

Substituindo a proposição de Manning na equação (12) temos:

$$V = \frac{R_h^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (14)$$

Para o cálculo da matriz de velocidade em escoamento superficial, neste estudo todos os parâmetros (coeficiente de rugosidade n , Raio hidráulico R_h e declividade S) foram preparados na forma de matrizes em ambiente de ArcGis e inseridos na equação 14.

A matriz do coeficiente de rugosidade de Manning depende da cobertura vegetal ou uso do solo da área de estudo de cada sub-bacia, com valores atribuídos para os tipos de uso do solo conforme tabela preparada para utilização na equação de Manning para escoamento superficial em terra e canal.

O valor do raio hidráulico da bacia em canais abertos é calculado a partir da relação da área de fluxo e do perímetro molhado do canal, no caso de escoamento superficial não se formam canais de fluxo e são aceitas áreas terrestres de fluxo com largura determinada, com uma fina camada de fluxo considerada com profundidade de escoamento superficial de 1mm (0,001m) (USUL, 2002).

Para as drenagens os valores de Raio hidráulico foram obtidos através da ferramenta FlowAccumulation do ArcGis do MNT. A partir do MNT da área, em estudo similar Fleckenstein (1998) utilizou os valores do raio hidráulico tabelados, em uma grade de 30 x 30 m, onde o número de células formando cursos d'água estão agrupados em 4 grupos de valores do fluxo acumulado, com um valor único de R para cada grupo. Já numa grade de 10 x 10 Usul (2002) considerou como ponto inicial 1000 que representa uma área de drenagem a partir de 0,10 km².

B. Obtenção do SDR a partir da distância (d).

Considerou-se também a proposta de aplicar a função de decaimento exponencial em função da distância. Verificado por Mendes (2005) que em bacias com pequenas dimensões e tempos de concentração muito rápidos, sendo a escala de simulação da USLE anual, propôs-se substituir o tempo de deslocamento (t_i) pela distância de cada célula até a drenagem mais próxima (d_i) transformado de metro (m) para quilômetro (Km) .

$$SDR_i = \exp(-\beta d_i) \quad (15)$$

De posse dos dados de produção de sedimentos de cada célula, assim como a capacidade de transporte por célula a drenagem mais próxima, é realizada a avaliação de cada sub-bacia do estudo com o uso do ArcGis. A relação existente entre perdas de solos de uma bacia (áreas-fonte) e a produção de sedimentos, medida no exutório dessa bacia é definida como Relação de Liberação de Sedimentos – SDR.

Para se obter a quantidade de sedimentos que aporta o corpo d'água (Y) efetuou-se a multiplicação da Produção Total de Sedimentos por Sub-bacia (USLE) pela SDR, como descrito na equação 16. Assim, pela relação do valor quantitativo de sedimentos no exutório de cada bacia, procede-se a classificação de cada uma.

$$Y = A.SDR \quad (16)$$

3.5 Aplicação do Caminho de Mínimo Custo

Os algoritmos de caminho de mínimo custo separam o problema em duas partes (STEFANAKIS e KAVOURAS, 1995 *apud* WEBER e HASENAK, 1998): 1) calcular um plano de custo acumulado até o fim do caminho a partir de um plano de custo de passagem e 2) percorrer o plano de custo acumulado de um ponto de início até o ponto final do caminho.

Para a obtenção do traçado de mínimo custo da rodovia, foram utilizados os mapas de atrito obtidos nas fases anteriores, relacionados aos aspectos ambientais, construtivos e socioeconômicos, em ambiente raster do ArcGis ArcInfo.

A matriz de atrito ambiental considerou a média aritmética dos três temas propostos: Uso do Solo, Unidades de Conservação, Nascentes e Micro-bacias hidrográficas.

Seguiu-se a obtenção do mapa de atrito construtivo através da média aritmética dos dois temas apresentados, declividade (rampa) e obras de arte.

O aspecto socioeconômico levou em consideração somente a ligação entre os dois municípios e a aproximação dos pontos turísticos, sendo efetuada diretamente a obtenção da matriz de custo e o caminho de mínimo custo.

4 CASO DE ESTUDO: RODOVIA TO-247, LIGAÇÃO ENTRE MATEIROS E LAGOA DO TOCANTINS.

4.1 Caracterização geral da área estudada

O estado do Tocantins está enquadrado na região Amazônica, a partir da incorporação de todas as áreas abaixo do paralelo 13° à região da Amazônia Legal, contemplando fitofisionomias de cerrado, região de transição e floresta. Na atualidade é considerada fronteira de ocupação agrícola da soja e cana-de-açúcar, da frente proveniente do sul do país e ao Norte a exploração da floresta por empreendimentos pecuários de gado bovino extensivo. Seguindo o modelo de decisão para implantação de rodovias da Amazônia, a partir do desmembramento do estado do Tocantins de Goiás em 1988, foram implantados no estado mais de quatro mil quilômetros de rodovias buscando integrar as regiões isoladas aos grandes eixos de desenvolvimento.

A pesquisa foi desenvolvida considerando o caso da proposta da implantação da rodovia TO-247, ligação entre as sedes municipais Lagoa do Tocantins e Mateiros situadas na região conhecida como Jalapão, inserida na área leste do estado do Tocantins, fazendo divisa com os estados do Piauí, Maranhão e Bahia. A localização da área do estudo está ilustrada na Figura 2.

O Jalapão foi classificado como Região Administrativa XII – Novo Acordo, conforme o Zoneamento Ecológico Econômico da Secretaria de Planejamento (TOCANTINS, 2008) composta por oito municípios: Mateiros, Lagoa do Tocantins, Rio Sono, São Félix do Tocantins, Ponte Alta do Tocantins, Lizarda, Santa Tereza do Tocantins e Novo Acordo, totalizando uma área aproximada de 30.341,8779km² ou 3 milhões e 34mil e 877 ha. A sede municipal de Lagoa do Tocantins está situada à 120km da capital Palmas, com acesso pavimentado, sendo que o município de Mateiros está a aproximadamente 400 Km sendo acessado por rodovia em parte de revestimento primário e a partir de Novo Acordo a Palmas por acesso pavimentado.

Os municípios interceptados pela rodovia a ser pavimentada, são Lagoa do Tocantins, Ponte Alta do Tocantins e Mateiros, possuem as mais baixas densidades demográfica do estado, chegando a menos de 1 hab/Km² (IBGE, 2010). Atualmente, não há interligação viária entre as sedes municipais, assim o empreendimento em

estudo é caracterizado como indutor de desenvolvimento, e tem a condição de primeiro projeto de pavimentação a ser implantado no Jalapão.

Objetivando incrementar o desenvolvimento turístico, propôs-se, também melhorar o acesso aos dois principais pontos turísticos, Cachoeira da Velha situada no rio Novo, e as Dunas, formação paisagística de extrema beleza, criada a partir de erosão eólica. Na Tabela 2 seguem as coordenadas de localizações das sedes municipais a serem interligadas e pontos turísticos.

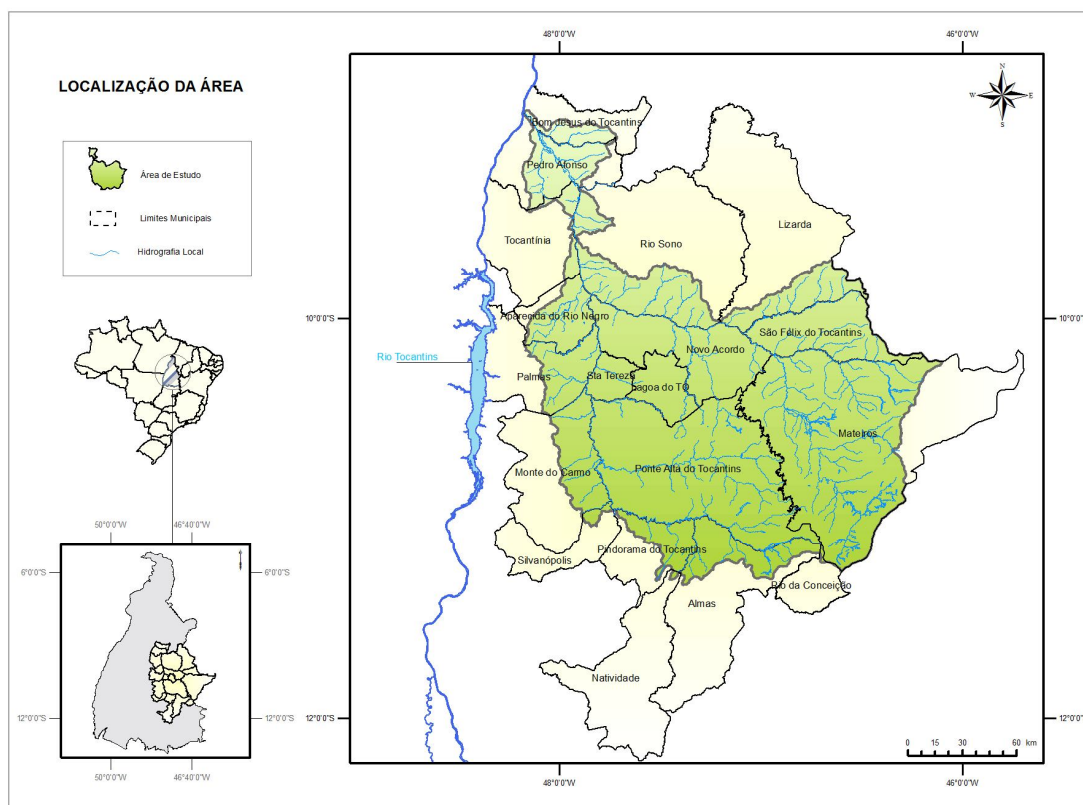


Figura 2. Mapa de localização da área de estudo, inseridas nas Bacias do rio Sono e Bacia do rio das Balsas, região do Jalapão – TO.

Fonte: TOCANTINS, 2008.

TABELA 2.
Coordenadas das sedes municipais da área de estudo.

Coordenadas dos pontos		
Datum SAD 69 – Meridiano Central 45°WGr		
Local	Latitude	Longitude
Lagoa do Tocantins	10°17'47"	47°33'40"
Cachoeira da Velha	10°16'16"	46°52'44"
Dunas	10°33'52"	46°39'40"
Mateiros	10°32'44"	46°25'02"

Fonte: dados da pesquisa (2008).

A área de estudo utilizada neste trabalho justifica-se devido à sensibilidade ambiental inerente à região principalmente quanto ao meio físico, no que se refere aos solos e recursos hídricos, sendo que os ecossistemas estão praticamente preservados em sua maioria.

A rodovia a ser projetada está na categoria Classe III – rodovia de pista simples, suportando volumes médio de tráfego de 300 veículos diários, de acordo com recomendações do DNIT (1999) e rampa máxima de 9%.

4.2 Caracterização Ambiental

A região Jalapão apresenta características muito peculiares, com destaque para uma grande parte desta com indicação de potencial do uso restritiva – Áreas de conservação ou com alta limitação natural para uso, classificadas pelo Zoneamento Ecológico Econômico da SEPLAN (TOCANTINS, 2008).

De acordo com a regionalização climática do Atlas do Tocantins (TOCANTINS, 2008), adotando-se o Método de Thorntwaite-Mather predomina na região o Clima Subúmido Seco – C1dA'a', com moderada deficiência hídrica no inverno, evapotranspiração média anual de 1.300 mm. Nas proximidades de Lagoa do Tocantins ocorre também o Clima Úmido Subúmido – C2wA'a', com moderada deficiência hídrica, evapotranspiração média anual de 1.500mm. A precipitação média é de 1.500mm/ano, marcadamente distribuída por 6 meses de período chuvoso e 6

meses de estação seca e a temperatura média anual varia de 27°C a 29°C de leste para oeste (sentido Mateiros a Lagoa do Tocantins).

A região pertence ao Sistema Hidrográfico do Rio Tocantins, contemplando as Bacias do rio Sono – T10 e do rio das Balsas – T9, conforme Atlas do Tocantins (TOCANTINS, 2008). A área do estudo é composta por 13 sub-bacias, sendo 8 da Bacia do rio Sono e 5 da Bacia do rio das Balsas.

As duas bacias identificadas seguem alinhamentos preferenciais E-W pois a rede hidrográfica está fortemente correlacionada com os lineamentos estruturais presentes na região, verificado por Mendes (2008)^b em dissertação que utilizou o Modelo Digital do Terreno obtido das imagens SRTM.

Compreende depressões de recuo das escarpas da Serra Geral de Goiás e da Chapada das Mangabeiras, onde podem ser observados alguns testemunhos da história natural regional como a Serra do Espírito Santo, Serra da Jalapinha entre outros.

O início do trecho, no município de Lagoa do Tocantins está inserido regionalmente nos ambientes geológicos da Bacia Sedimentar do São Francisco, segue adentrando a Bacia Sedimentar do Parnaíba predominante na área do estudo até o município de Mateiros. O rio Sono está inserido na Bacia Sedimentar do São Francisco onde ocorre a Formação Urucuia. A Bacia do Parnaíba é considerada paleozóica, mas contém também outros depósitos como o cenozóico e o mesozóico poucos espessos. O Devoniano nesta bacia está representado pelo Grupo Canindé, composto pelas Formações Pimenteiras, Cabeças, Longá e Poti, da base ao topo. Na área do estudo, predomina na Bacia do rio Balsas a Formação Pimenteiras (**Dp**), de acordo com Seplan (2008) é composta por arenitos finos a grosseiros, siltitos, siltitos foliáceos ferruginosos, argilitos, níveis conglomeráticos e microconglomeráticos subordinados.

A área em estudo encontra-se inserida em sua maior porção, na Unidade Geomorfológica denominada Chapadas do Jalapão. A Dissecação homogênea com feições Topo Convexas e Topo Tabulares, Partindo da sede municipal de Lagoa do Tocantins até o divisor entre a Bacia do Rio Sono o relevo é condicionado a formas estruturais do Aplanamento de Pediplano Degradado Desnudado – Pgu. De acordo com a estrutura geológica os processos morfodinâmicos geraram formas de relevo, em que camadas mais resistentes sobressaem no relevo.

A forma de relevo entalhada por agentes erosivos, tipo de dissecação classificado por SEPLAN (TOCANTINS, 2008) como Dissecado em Colinas – Dc é predominante na região do estudo, principalmente ao longo da rede hidrográfica. Os canais de drenagens são geralmente curtos e pouco aprofundados. O relevo vai de levemente ondulado a ondulado, destacando as áreas acidentadas onde estão previstos a realização de cortes e aterros.

Os dois compartimentos localizados nas imediações da sede municipal de Lagoa do Tocantins são o Aplanamento de Pediplano Retocado Desnudado – Pru e nas margens do rio das Balsas a Acumulação Fluvial de Planície e Terraço, caracterizado por relevo resultante de depósito de sedimentos. Individualizada em altitudes entorno de 800m.

Na Bacia do rio Sono predomina os solos do tipo Areias Quartzosas – AQ6 e AQ3 (TOCANTINS, 2008) ou Neossolos Quartzarênicos (EMBRAPA, 1999). Esta classificação envolve associações das Areias Quartzosas distróficas com outros solos, a exemplo do AQ6 que é composto por associação de Areias Quartzosas distróficas em relevo suave ondulado com areias quartzosas hidromórficas de ocorrência em relevo plano, ainda associado a Glei Pouco Húmico. Já o solo AQ3 envolve associação com Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em relevo suave ondulado.

Outra classificação encontrada com grande frequência é dos solos concrecionários – SC9 e SC5 (TOCANTINS, 2008), descritos como associações destes com Podzólico Vermelho-Amarelo em relevo ondulado, mais Latossolo Vermelho Amarelo em relevo suave ondulado (SC9). No caso da classe SC5 a associação é com o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em relevo suave ondulado a ondulado (SC9).

Ocorrem ainda na área do estudo: Latossolo Vermelho Escuro – LE1, o Latossolo Vermelho-Amarelo – LV1, Latossolo Amarelo – LA1, Podzólico Vermelho Amarelo – PV6 e Solos Litólicos – R2 ou Litossolo.

A região do estudo encontra-se inserida no Bioma Cerrado ou região fitoecológica Savana (Cerrado) (TOCANTINS, 2008) com predominância de vegetação xeromorfa aberta, dominada e marcada por um estrato herbáceo. Predomina o Campo Cerrado (CC) – vegetação de estrato graminóide natural ou antropizado entremeados por plantas lenhosas de pequeno porte, podendo ou não conter mata ciliar associada aos canais de drenagens, onde foi verificada a ocorrência

de “nanismo”. Ainda foram identificadas ocorrência de Savana arborizada, Savana Parque e Savana Gramíneo Lenhosa com Floresta de Galeria.

Destacam-se a existência de 5 Unidades de Conservação de administração Federal (ICMBio) e Estadual (Naturatins) na região do Jalapão, sendo 3 Unidades na área do estudo: Parque Estadual do Jalapão, APA Estadual do Jalapão e Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins.

A Agência de Desenvolvimento Turístico do estado do Tocantins - ADTUR destaca na região 14 atrativos turísticos relacionados à água (TOCANTINS, 2006) exaltando o potencial turístico da região e a riqueza dos recursos hídricos, um dos principais atrativos:

“o Jalapão abriga um cenário exótico de rara beleza(...) a região é toda cortada por incontáveis riachos de águas puras com suas corredeiras, cachoeiras e piscinas naturais(...) e o mistério das águas do Fervedouro, nascente subterrânea que nos faz flutuar na realidade do sonho de estar em harmonia com a natureza”



Figura 3. Atrativo turístico: Cachoeira da Velha, município de Ponte Alta (TO).
Fonte: Foto de Márcio Di Pietro.



Figura 4. Atrativo turístico: Dunas, município de Mateiros (TO).
Fonte: Foto de Márcio Di Pietro.

Segundo dados da EMBRAPA (2003) 80% da área do Jalapão é coberta por vegetação nativa, sendo reduzidos os locais ocupados por uso antrópico como a agricultura e pecuária que contempla somente 10% da área.

4.3 Aplicação do modelo proposto

4.3.1 Definição da área do estudo

As bacias de inserção das sedes municipais de Mateiros e Lagoa do Tocantins foram identificadas na base de dados da SEPLAN (TOCANTINS, 2008) – *shape* de Bacias Hidrográficas e Sub-bacias. A Bacia do Rio Sono e Bacia do Rio das Balsas foram selecionadas e criada uma nova *shapefile* no ArcGis-ArcInfo-ArcMap: *Data*→*Export Data*→*nome:AE*.

A área de estudo totalizou 34mil e 877 ha, comportando 13 sub-bacias. Foram excluídas da área para efeito do trabalho 5 sub-bacias que se encontravam afastadas além dos Buffers de 30 Km das rodovias existentes identificadas, consideradas fora da possível área de influência (BELLIA e BIDONE, 1993).

Os dados de campo foram levantados através de 2 campanhas durante o ano de 2009 e 2010 e os dados digitais foram obtidos em sites de acesso gratuito ou disponíveis nos órgãos e instituições.

4.3.2 Aquisição dos dados da área do estudo

A obtenção das 13 sub-bacias da área do estudo foi efetuada com base na divisão proposta pela SEPLAN (TOCANTINS, 2008).

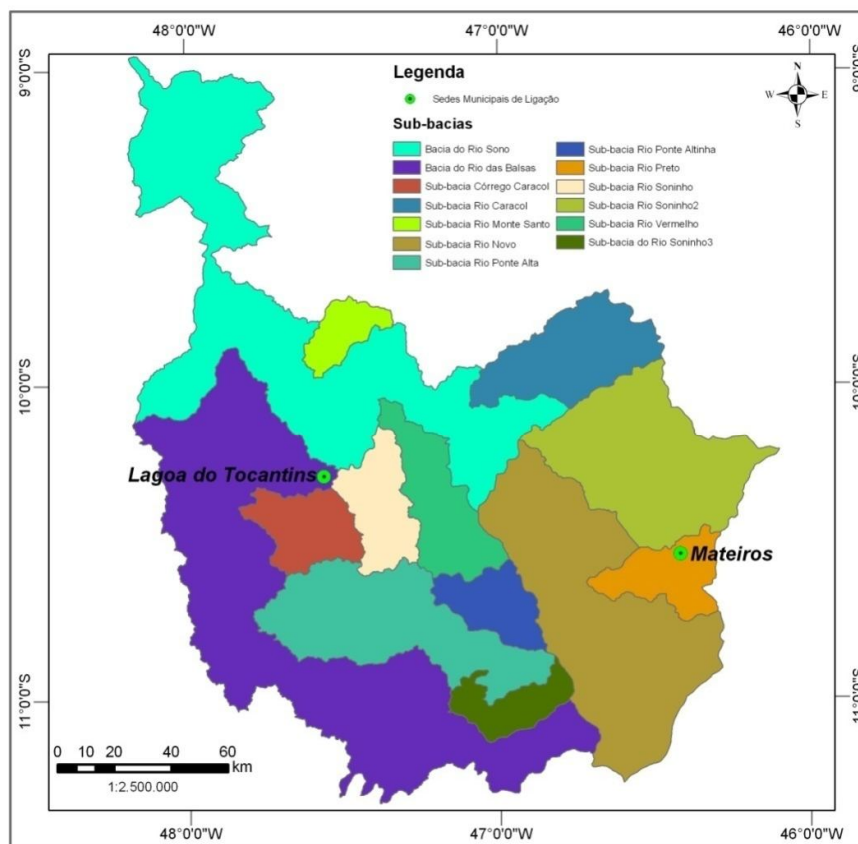


Figura 5. Mapa de sub-divisão das 13 sub-bacias que compõem as Bacias do rio das Balsas e Bacia do rio Sono.

Fonte: Dados da pesquisa, 2008.

4.3.3 Pré-processamento e análise dos dados

Foram produzidos os mapas de atrito para cada tema de restrição conforme a metodologia proposta, quanto aos aspectos ambientais, aspectos construtivos e aspectos socioeconômicos.

4.3.3.1 Aspectos ambientais

(i) Mapa de atrito para de uso do solo

Através do mapa de uso do solo foi produzido o mapa de atrito relacionado às dificuldades impostas à área ambiental no que se refere à cobertura e uso da terra.

As áreas de dunas tiveram a passagem vedada, devido às condições de fragilidade ambiental.

As áreas urbanizadas foram consideradas com maior dificuldade de passagem devido a necessidade de reassentamento populacional e as questões de segurança da travessia, seguem-se as vegetações nativas que são impactadas necessitando de desmatamento subdivididas em dois níveis de penalização. Também foram consideradas restritas as áreas antropizadas com cultivos diversos. Às praias e corpos d'água não foram atribuídas nenhuma restrição. Segue a Tabela 3 com a classificação aplicada.

TABELA 3.
Reclassificação com agrupamento dos indicadores de uso do solo

RESTRIÇÃO – SEPLAN	RESTRIÇÃO - DISSERTAÇÃO	GRAU DE PENALIZAÇÃO
Praias e Dunas	Praias e Dunas	1000
Áreas urbanizadas	Área Urbanizada	7
Mata de Galeria/Mata Ciliar	Vegetação Nativa associada a	6
Vereda	cursos d'água	
Cerradão	Vegetação Nativa – florestal e	5
Cerrado Sentido Restrito	savânica	
Floresta Estacional		
Semidecidual Aluvial		
Floresta Estacional		
Semidecidual Submontana		
Campo	Vegetação Nativa - Campestre	3
Campo Rupestre		
Capoeira		

(cont.)

(cont.)

RESTRIÇÃO – SEPLAN	RESTRIÇÃO - DISSERTAÇÃO	GRAU DE PENALIZAÇÃO
Reflorestamento Agropecuária Cultura Temporária	Áreas Rurais Antropizadas	2
Corpos d'água continental	Corpos d'água	1

Fonte: Tocantins, 2008 e Dados da pesquisa.

As classes do tema de uso do solo em formato shape obtido na base de dados geográficos disponibilizados pela Seplan (TOCANTINS, 2008) tiveram que ser reagrupadas conforme semelhança de restrição com os procedimentos que seguem no ArcGis- ArcMap-ArcInfo para a toda a área do estudo:

- *Add data* → Uso do solo;
- Acionar a tabela de atributos: *Open Attribute Table*
- Criar um novo campo na tabela de atributos do arquivo: *Options* → *Add Field* → *Name*. Escolher → *Type Text*. Preencher com o nome: *classf_uso*;
- *Open Attribute Table* → *Options* → *Select by Attribute* → nome → *Like* → *Get Unique Values* → ex: Mata de galeria ou Cerrado → *Apply*;
- Selecionar a *field Classf_uso*, com o botão direito → *Field calculator* → ex: Vegetação Nativa → *ok*;
- Repetir as operações para todas as classes de uso, limpando a seleção anterior: *Options* → *Clear Selection*, reclassificando conforme tabela 3, anterior.

Para transformação dos arquivos vetoriais (*shape*) em matriciais (*raster*), os procedimentos foram:

- Geração de raster: com a ferramenta *Spatial Analyst* → *Convert* → *Feature to Raster*;
- No campo *Input features* selecionar o shape desejado → Uso do Solo; no campo *Field* selecionar o campo reclassificado anteriormente → *Classf_uso*;
- No campo *Output cell size* foi padronizado o tamanho 10m para todos os rasters produzidos.

- No campo *Output raster* escolher o local onde será salvo o arquivo raster.

Após o reagrupamento procedeu-se a reclassificação das restrições por tema, sendo atribuídos pesos conforme orientação de técnicos do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Tocantins - DERTINS e experiência da pesquisadora, de acordo com as operações do *ArcGis*:

- *Spatial Analyst* → *Reclassify* → *Input raster* Uso do Solo;
- *New Values* → ex: pesos escolhidos.

(ii) Mapa de atrito de unidades de conservação e áreas protegidas

As unidades de conservação identificadas na área do estudo foram: Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (Unidade Gestora - ICMBio), Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba (Unidade Gestora - ICMBio), APA Serra da Tabatinga (Unidade Gestora - ICMBio), Parque Estadual do Jalapão (Unidade Gestora – Naturatins) e APA Jalapão (Unidade Gestora –Naturatins).

Seguindo a recomendação prevista na legislação vigente, o SNUC e SEUC, a unidade com máxima restrição é a Estação Ecológica, seguida pelos Parques, ambas classificadas como de proteção integral, tendo sido considerada área vedada à passagem da rodovia na Estação. A tabela 4 apresenta a parametrização proposta. As Terras Indígenas são áreas onde são permitidas a construção de estradas, porém com restrição semelhante à das unidades de conservação de uso sustentável, em alguns casos, como de proteção integral, necessitando medidas de grau alto de dificuldade para sua execução.

O procedimento de reagrupamento e atribuição de pesos das unidades de conservação foram executadas em *ArcGis-ArcInfo-ArcMap* e seguiram as mesmas orientações do mapa de atrito do potencial de uso do solo, com o grau de penalização proposto.

TABELA 4.
Grau de penalização das categorias de Unidades de Conservação ou Áreas Protegidas.

RESTRICÇÃO – SEPLAN	RESTRICÇÃO - DISSERTAÇÃO	GRAU DE PENALIZAÇÃO
Estação Ecológica	Estação Ecológica	1000
Área Indígena	Área Indígena	10
Parque Nacional ou Estadual	Parque Nacional ou Estadual	10
Área de Proteção Ambiental – APA	Área de Proteção Ambiental - APA	3
Sem unidade	Sem unidade	1

Fonte: Tocantins, 2008 e dados da pesquisa.

(iv) Mapa de atrito das APP's das nascentes e zona tampão dos cursos d'água

Neste trabalho foi vedada a passagem nas Áreas de Preservação Permanentes - APP's, (50m de raio a partir da nascente) sendo atribuído grau de restrição 1000. O incremento deste critério ambiental à fase de planejamento virá contribuir para a preservação destas áreas, ainda que os dados disponibilizados no mapa de hidrografia foram na escala 1:100.000. Nos casos praticados nos projetos rodoviários, somente são vedadas a passagem nestas áreas em caso de uso humano da água ou em situações de associações a questões de relevância ambiental específica.

Em ambiente ArcMap utilizou-se a extensão *XTools Pro*, gerou-se os pontos de nascentes e foi criado um *buffer* de 50m para cada ponto representando as Áreas de Preservação Permanentes – APP's das nascentes.

Foi proposta a aplicação de Buffer de 100m de todos os cursos d'água e restrições maiores à passagem da rodovias nestas áreas, sendo que às demais áreas foram consideradas sem restrição, pois serão necessárias distâncias muito grandes para obtenção de pequenos ganhos em redução do escoamento.

Utilizou-se a ferramenta *Buffer* localizada no menu *Analysis Tools* da ferramenta *ArcToolBox*: →*Proximity*→*Buffer*, no campo *Input Feature* selecionar o shape de drenagem da área do estudo da Seplan (TOCANTINS, 2008) e no campo

Distance → 100 e para *Unit* selecionar *meters*. No campo *Dissolve Type* → *All*, para eliminar possíveis inconsistências da drenagem.

Transformou-se o arquivo vetorial para matricial, através da opção *Spatial Analyst* → *Convert* → *Features to raster*. A partir do arquivo matricial gerado, foi efetuada a reclassificação, onde a todas células internas do *buffer* foi atribuído valor 10, considerada Zona Tampão e nas áreas valor 1. *Spatial Analyst* → *Reclassify* → *Input raster* Zona Tampão; *New Values* → 10 e *No Data* → 1.

4.3.3.2 Aspectos construtivos

(v) Mapa de atrito de obras de arte

A minimização da dificuldade construtiva relacionada ao número de cursos d'água a serem transpostos foi tratada através da penalização destes impondo restrições através do seu porte. Utilizou-se recorte da imagem SRTM da área do estudo, classificando a drenagem, através do fluxo acumulado, conforme contribuição total das células por área drenada.

Segue tabela 5 com classificação proposta por técnicos da Diretoria de Projetos do Dertins (TOCANTINS, 1994), apoiado na classificação utilizada para cálculo de vazões e dimensionamento dos bueiros e pontes.

TABELA 5.
Classificação das bacias por área, modalidades de obras de arte e grau de penalização.

ÁREA DA BACIA	CLASSIFICAÇÃO DA BACIA / MÉTODO PARA VAZÃO	TIPO DE OBRA DE ARTE	CUSTO CONSTRUTIVO OA (larg.16m)	GRAU DE PENALIZAÇÃO
≤1Km ² (100ha)	Pequena	-	-	1
1Km ² >a≤5Km ² (100 - 500ha)	Pequena (Racional)	Bueiros tubulares ou celulares	BSTC Ø 1m R\$712,00/m	3
5Km ² >a≤10Km ² (500 - 1000ha)	Intermediárias (Racional e coeficiente de retardamento)	Bueiros tubulares ou celulares	BSCC 3x3m R\$8.700,00/m	5
>10 Km ² (>1.000ha)	>10a≤ 30Km ² (Hidrograma Unitário – HUT)	Bueiros celulares ou Pontes	PCA 10,40m(larg) R\$30.000,00/m	6
1.207.58	>30Km ²			8

Fonte: TOCANTINS, 1994 e dados da pesquisa.

Através da obtenção do Modelo Numérico do Terreno – MNT da missão SRTM foi extraída a drenagem. O uso do ArcGis permitiu reagrupar, reclassificar e graduar a interceptação dos cursos d'água. Com a operação de reclassificação foram pontuadas as drenagens conforme área da bacia drenada.

1. As imagens SC-23-Y-D, SC-23-Y-B, SC-23-V-D, SC-23-Y-C, SC-23-Y-A, SC-23-V-C, SC-23-V-A, SC-22-Z-B, SC-22-X-D, SC-23-X-B, foram baixadas do site da Embrapa (MIRANDA, 2005);
2. Foi efetuado o mosaico que compõe a área de estudo e posteriormente o recorte da mesma;
3. Remoção das depressões através do *ArcGisArcInfo: Spatial Analyst Tools→Hidrology→Fill*;

4. Obtenção dos arquivos de direção de fluxo e fluxo acumulado: *Spatial Analyst Tools*→*Hidrology*→*Flow Direction* e *Spatial Analyst Tools*→*Hidrology*→*Flow Accumulation*;
5. A partir das imagens com as depressões removidas e o fluxo de direção gerado, proceder foi efetuado o reagrupamento das células das drenagens conforme a tabela 5: *Spatial Analyst Tool*→*Reclassify*→*Classify* entrar com 5classes→*break values*→121(referente a nº de células drenado para áreas abaixo de 1 Km²), 604 (5 Km²), 1.207 (10 Km²) 3.623 (30 Km²);
6. Fazer a reclassificação com os pesos atribuídos na tabela 5: *Spatial Analyst Tool*→*Reclassify* atribuir os novos valores *New value*→1 (para até 121 células), 3 (604), 5, 6 e 8 sucessivamente.

(vi) Mapa de atrito de gradiente de rampa

O caso do estudo prevê a construção de uma rodovia classe III, sendo que são permitidas rampas de até 9% de declividade, tolerando-se a instalação de rampas até 10%, uma vez que a modernização dos veículos de transporte permite o desenvolvimento com segurança nesta classe.

Através do mapa de declividade, onde as classes de declividade foram geradas a partir do MNT, obtido da digitalização das curvas de nível com equidistância de 100m (TOCANTINS, 2008) foi efetuado o reagrupamento das classes e associações e a reclassificação no ArcGis para os parâmetros indicados de acordo com a dificuldade imposta pela necessidade de construção de rampas ou realização de cortes e aterros.

Na extensão *3D Analyst*→*Surface Analysis*→*Slope* entrar com a imagem SRTM com as depressões removidas, escolher o campo %. Efetuou-se o reagrupamento e a reclassificação atribuindo os graus de penalização da tabela 6.

TABELA 6.
Reclassificação dos indicadores de declividade e grau de penalização das classes de declividade

RESTRIÇÃO – SEPLAN	RESTRIÇÃO – DISSERTAÇÃO	GRAU DE PENALIZAÇÃO
Classe A (declive $\leq 5\%$)	Declive $\leq 10\%$	1
Classe AB - Mosaico com predomínio de A sobre B		
Classe B (5% > declive $\leq 10\%$)		
Classe BC - Mosaico com predomínio de B sobre C		
Classe C (10% > declive $\leq 15\%$)	10% > declive $\leq 15\%$	2
Classe CB - Mosaico com predomínio de C sobre B	e associações	
Classe CD - Mosaico com predomínio de C sobre D		
Classe D (15% > declive $\leq 30\%$)	15% > declive $\leq 30\%$	5
Classe DC - Mosaico com predomínio de D sobre C	e associação	
Classe E (30% > declive $\leq 45\%$)	30% > declive $\leq 45\%$	8
Classe F (declive > 45%)	Declive > 45%	10

Fonte: TOCANTINS, 2008 e dados da pesquisa.

4.3.3.3 Aspecto socioeconômico

(viii) Mapa de atrito dos pontos turísticos

Entre os aspectos socioeconômicos da implantação e pavimentação da rodovia TO-247 foi identificado o anseio dos políticos e comunidade local em facilitar o acesso aos principais pontos turísticos Cachoeira da Velha e Dunas. A Cachoeira da Velha está localizada no rio Novo, afluente do rio Sono e apresenta grande beleza cênica com duas quedas de 20m cada uma, servida ainda pela Prainha, praia natural permanente formada à jusante da cachoeira, muito utilizada para camping. As dunas do Jalapão são formações de até 30m de altura, compostas por areias quartzosas

originada de erosão eólica proveniente da Serra do Espírito Santo que rodeia a área juntamente com pequeno manancial de água.

TABELA 7.
Localização dos pontos turísticos.

Coordenadas dos pontos (UTM)		
Datum SAD 69 – zona 23S		
Local	E	N
Cachoeira da Velha	294.201,692	8.863.991,096
Dunas	318.221,902	8.831.675,420

Fonte: Dados da pesquisa, 2008.

No caso, foi considerada a necessidade de aproximar a rodovia pavimentada do acesso aos pontos turísticos visando incrementar o turismo regional e a sua acessibilidade. Assim, estabeleceu-se como patamar de atrito superior de peso 10, uma distância superior a 20 km, enquanto que o patamar de atrito inferior de peso 1 ficou a uma distância de 1 a 5 km. Foi vedada a passagem na área do ponto turístico até uma distância de 1 km, afim de evitar danos ambientais.

De posse das coordenadas geográficas dos pontos turísticos levantadas em campo, utilizando-se do ArcGis-ArcMap-ArcInfo, foram construídos buffers em faixas conforme tabela 8, que tiveram seu grau de restrição variando linearmente.

Utilizou-se a ferramenta *Buffer* localizada no menu *Analysis Tools* da ferramenta *ArcToolBox*: →*Proximity*→*Buffer*, no campo *Input Feature* selecionar o shape dos pontos turísticos.

- 1 Restringiu-se a passagem a partir dos pontos turísticos, num raio de 1 km. *ArcToolBox*: *Analysis Tools*→*Proximity*→*Buffer*, no campo *Input Feature* selecionar o shape dos pontos turísticos, no campo *Distance*→1, acionar a unidade *kilometers*, acionar *Full*, *round* e *none* para os demais campos;
- 2 Prosseguiu-se com o mesmo método para as demais distâncias propostas na tabela 8;
- 3 Efetuou-se a imersão dos polígonos com a opção: *ArcToolBox*: →*Data Management Tools*→*General*→*Merge*, inserir todas as *shapes*;

- 4 Converteu-se o arquivo vetorial para matricial: *Spatial Analyst*→*Convert*→*Feature to raster*;
- 5 Reclassificou-se a shape gerada atribuindo os graus de penalização: *Spatial Analyst*→ *Reclassify* → *Input feature* [Turismo]; *New Values*→ conforme tabela 8.

TABELA 8.
Reclassificação dos indicadores de distância para pontos turísticos.

RESTRIÇÃO – DISSERTAÇÃO	GRAU DE PENALIZAÇÃO
D > 20 km	6
20 Km > D ≤ 15 Km	4
15 > D ≤ 10	3
10 > D ≤ 5	2
5 > D ≤ 1	1
D<1	1000

Fonte: Dados da pesquisa, 2009.

4.3.4 Produção e aporte de sedimentos

4.3.4.1 Aplicação da USLE

A estimativa de perdas anuais de solo em t.ha⁻¹ foi obtida com a aplicação da equação universal de perdas de solos – USLE (*Universal Soil Loss Equation*) (WISHMEIER & SMITH, 1978) que não prevê deposição e não computa produção de sedimentos por ravina e erosão das margens e fundo do canal. A obtenção da produção total de sedimentos por bacia foi obtido a partir da equação 1.

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

Onde:

A = perda de solo calculada por unidade de área, t/ha.ano;

R = fator de erosividade da chuva e *run-off*, MJ.ha⁻¹.mm. h⁻¹;

K = fator de erodibilidade do solo, tmh/ha.mm;

L = fator comprimento do declive (adimensional);

S = fator grau do declive (adimensional);

C = fator uso e manejo de culturas (adimensional);

P = fator práticas conservacionistas (adimensional).

O desenvolvimento da metodologia foi efetuado para cada sub-bacia das bacias principais – Rio Sono – T-10 e Rio das Balsas – T-9, com o intuito de verificar a sensibilidade ambiental relacionada a produção total de sedimentos (USLE) e posteriormente o aporte de sedimentos (SDR) de cada uma.

Os mapas e imagens SRTM foram recortadas com o uso de ferramentas do ArcMap-ArcInfo conforme divisão proposta pela SEPLAN expressos na tabela 9.

TABELA 9.
Dados de perímetro e área das sub-bacias da bacia do rio das Balsas – T9 e bacia do rio Sono - T10.

Bacias	Sub-bacia	Perímetro Km	Área Km ²	Área ha
T-9	Bacia do Rio das Balsas	819,6853917	6.984,107726	698.410,7726
T-9	Sub-bacia Córrego Caracol	157,7164892	846,1294455	84.612,94455
T-9	Sub-bacia Rio Ponte Alinha	136,1189524	724,279928	72.427,9928
T-9	Sub-bacia Rio Ponte Alta	344,4053105	2.548,687387	254.868,7387
T-10	Bacia do Rio Sono	923,3144163	6.354,573501	635.457,3501
T-10	Sub-bacia Rio Soninho2	280,4054119	2.990,778875	299.077,8875
T-10	Sub-bacia Rio Caracol	209,4046442	1.533,283502	153.328,3502
T-10	Sub-bacia Rio Monte Santo	110,0014218	449,3825485	44.938,25485
T-10	Sub-bacia do Rio Soninho3	157,1250175	604,8139544	60.481,39544
T-10	Sub-bacia Rio Novo	395,3294731	4.371,289532	437.128,9532
T-10	Sub-bacia Rio Preto	159,9512443	807,1426385	80.714,26385
T-10	Sub-bacia Rio Soninho	174,4844815	914,4938194	91.449,38194
T-10	Sub-bacia Rio Vermelho	217,7938901	1.212,915081	121.291,5081

FONTE: Dados da pesquisa, 2009.

(i) Fator de erosividade da chuva (R)

Para as duas bacias hidrográficas estudadas foram identificadas 14 postos e estação pluviométricos no interior das bacias ou nas proximidades, sendo então extraídos os valores diários de precipitação no site da Agência Nacional de Águas. De

posse destes dados obteve-se os valores das médias mensais e anuais, que aplicados a equação (2) resultou na erosividade média mensal e através das suas somatórias chegou-se a erosividade total. A tabela 10 demonstra os resultados obtidos de erosividade por estação e posto pluviométricos identificados. Através dos valores da erosividade e da localização geográfica dos postos e estação, gerou-se a matriz dos valores de erosividade para cada ponto das bacias, através da interpolação do inverso do quadrado da distância (IDW) em ArcGis, como demonstrado na Figura 6.

$$EI = 89.823^* \left(\frac{r^2}{P} \right)^{0.759} \quad (2)$$

Onde:

EI = erosividade média mensal do mês *i* (MJ mm.ha⁻¹ h⁻¹);

r = precipitação média mensal do mês (mm);

P = precipitação média anual (mm).

TABELA 10.
Demonstrativo das erosividades calculada por posto e estação pluviométricos.

Código	Município/Nome	Início	Fim	Período	Consistido	Erosividade (MJ.ha⁻¹.mm. h⁻¹)
0114700	Almas - TO	1973	2006	33 anos	Sim	8.527,6
1045006	Formosa do Rio Preto – BA (Coaceral)	2001	2006	5 anos	Sim	7.774,9
946003	Lizarda - TO	1973	2006	33 anos	Sim	8.431,6
1046001	Mateiros - TO	1998	2006	8 anos	Sim	9.761,0
1047002	Monte do Carmo – TO	1969	2006	37 anos	Sim	8.734,7
1047000	Novo Acordo – TO (Jatobá - Faz. Boa Nova)	1973	2006	33 anos	Sim	8.840,6
1047001	Novo Acordo	1971	2006	35 anos	Sim	8.321,7

(cont.)

(cont.)

Código	Município/Nome	Início	Fim	Período	Consistido	Erosividade (MJ.ha⁻¹.mm. h⁻¹)
1048005	Palmas – TO (Taquarussu do Porto)	1976	2006	30 anos	Sim	9.497,3
948001	Pedro Afonso – TO (Porto Real)	1969	2006	37 anos	Sim	8.471,8
848004	Pedro Afonso - TO (23)	1949	2008	49 anos	sim	7.395,7
1147002	Pindorama do TO	1973	2006	33 anos	Sim	8.746,2
1047004	Ponte Alta do TO	1984	2006	22 anos	Sim	8.012,4
1048003	Porto Nacional – TO (Palmas)	1949	1998	49 anos	Sim	8.352,0
947001	Rio Sono – TO (Mansinha)	1983	2006	23 anos	Sim	9.081,5
847000	Santa Maria – TO/ Conceição	1998	2006	28 anos	Sim	9.455,36

FONTE: ANA, 2010 e dados da autora.

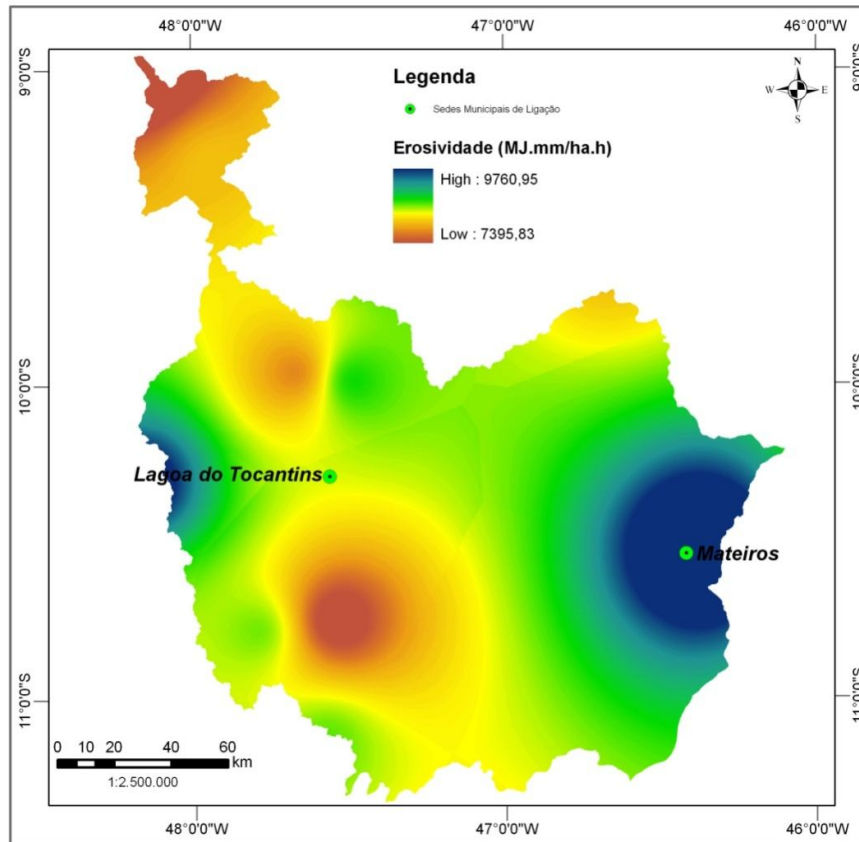


Figura 6. Mapa de erosividade das chuvas na região do Jalapão – TO.
Fonte: Dados da pesquisa, 2009.

(ii) Fator de erodibilidade dos solos (K)

A elaboração da matriz de erodibilidade dos solos do estudo partiu dos valores calculados através do nomograma de Wischmeier et al. (1971) citado por Farinasso *et al.* (2006) para a região do Alto Parnaíba, inserida nas proximidades das Bacias desta pesquisa e segundo proposição de Baptista (1977). Com o uso do ArcGisArcInfo foi reclassificado o mapa de pedologia (TOCANTINS, 2008) e atribuído os valores de erodibilidade, conforme dados expostos na tabela 11.

TABELA 11.
Valores de fator K para as classes de solo da área do estudo.

TIPOS DE SOLOS ADAPTADOS (TOCANTINS, 2008)	TIPOS DE SOLOS (EMBRAPA, 1999)	FATOR K (t.ha.h/ha.MJ.mm)
Areia Quartzosa Distrófica (AQd)	Neossolo Quartzarênico Órtico	0,041 (Farinasso et al., 2006)
Latossolo Vermelho Escuro Distrófico (LEa)	Latossolo Vermelho Escuro Distrófico	0,018 (Farinasso et al., 2006)
Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (LVa)	Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico	0,020 (Baptista, 1997)
Latossolo Roxo Distrófico (LR)	Latossolo Vermelho Distrófico	0,014 (Farinasso et al., 2006)
Latossolo Amarelo Distrófico (LA1)	Latossolo Amarelo Distrófico	0,028 (Farinasso et al., 2006)
Litossolo Eutrófico (Re)	Neossolo Litólico Eutrófico	0,036 (Farinasso et al., 2006)
Litossolo Distrófico (Rd)	Neossolo Distrófico	0,052 (Farinasso et al., 2006)
Podzólico Vermelho-amarelo Concrecionário Distrófico	Argissolo Vermelho-Amarelo	0,044 (Farinasso et al., 2006)

Fonte: Autores diversos.

(iii) Fator topográfico (LS)

Através da equação (3) de Wischmeier & Smith (1978) foi obtido o fator LS.

$$LS = \left(\frac{x}{22.13} \right)^n \times (65.41 \times \sin^2 \theta + 4.56 \sin \theta + 0.065) \quad (3)$$

Onde:

x = comprimento de rampa de escoamento;

θ = declividade do terreno;

n = 0.5 se $\theta \geq 4.5\%$

0.4 se $3 \leq \theta < 4.5\%$

0.3 se $1 \leq \theta < 3\%$

0.2 se $\theta \leq 1\%$

Para obtenção do fator topográfico foi utilizado somente o MNT, através das imagens SRTM, em recorte da área de estudo, conforme a descrição que segue.

- As imagens SC-23-Y-D, SC-23-Y-B, SC-23-V-D, SC-23-Y-C, SC-23-Y-A, SC-23-V-C, SC-23-V-A, SC-22-Z-B, SC-22-X-D, SC-23-X-B, foram baixadas do site da Embrapa (MIRANDA, 2005);
- Foi efetuado o mosaico que compõe a área de estudo e posteriormente o recorte da mesma;
- Remoção das depressões através do ArcGisArcInfo: Spatial Analyst Tools→Hidrology→Fill;
- Obtenção dos arquivos de direção de fluxo e fluxo acumulado: *Spatial Analyst Tools→Hidrology→Flow Direction*;
- A partir deste ponto deve ser dividida as sub-bacias e fazer o fluxo acumulado para cada sub-bacia: *Spatial Analyst Tools→Hidrology→Flow Accumulation*;
- A partir do arquivo com as depressões removidas foi obtida a declividade, opção em graus: *Spatial Analyst Tools→Surface→Slope*, marcar *measurement→degree*;
- Conversão do mapa de declividade para radianos para obtenção do θ : *Spatial Analyst→raster calculator: [arquivo SlopeRad] = ([DeclividadeGraus]* 3,141593) / 180*;
- Geração do arquivo de declividade em porcentagem para obtenção do n : *Spatial Analyst Tools→Surface→Slope*, marcar *measurement→percent*;
- Obtenção do n através da reclassificação das classes de declive em porcentagem (θ): Inicialmente agrupa as classes, conforme valores de θ *Properties→Symbology→Classified→4Classes→Classify*, e reclassificação: *Spatial Analyst →Reclassify*. Critérios: *New Value* 0.5 se $\theta \geq 4.5\%$; 0.4 se $3 \leq \theta < 4.5\%$; 0.3 se $1 \leq \theta < 3\%$; 0.2 se $\theta < 1\%$;

- Obtenção do comprimento de rampa (x) inicialmente, através da reclassificação da matriz acumulada (*Flow Accumulation*), multiplicado pelo tamanho da célula em metros (m), no caso 91,64831. Uma vez que a USLE não calcula perdas de solo em canais e considerando a recomendação de Mendes (2005) que rampas maiores que 200m podem iniciar canais de drenagem. foi realizada reclassificação da matriz acumulada multiplicada pelo tamanho da célula da imagem, tendo sido atribuídos valor 1 para células com valor nulo e 200m para as maiores que 200 as demais mantiveram seus respectivos valores. Este procedimento foi realizado através dos seguintes passos:
- No raster acessar → *Properties* → *Symbology* → *Classified* → *Classify*; reclassificar *Spatial Analyst* → *Reclassify*;
- Cálculo do LS decompondo a equação (3), como segue, para facilitar o cálculo através da aplicação do procedimento *Spatial Analyst* → *Raster Calculator*.

$$P1 = \text{Pow}([\text{comprimento de rampa reclassificado (x)}/22,13, [n])$$

$$P2 = 65,41 * \text{Pow}(\text{Sin}([\text{SlopeRad}]), 2)$$

$$P3 = 4,56 * \text{Sin}([\text{SlopeRad}])$$

$$\text{LS} = [P1] * ([P2] + [P3] + 0,065)$$

Os cálculos foram efetuados para todas as sub-bacias, sendo que a Figura 7 representa resultado obtido nestes procedimentos para a sub-bacia do rio Vermelho.

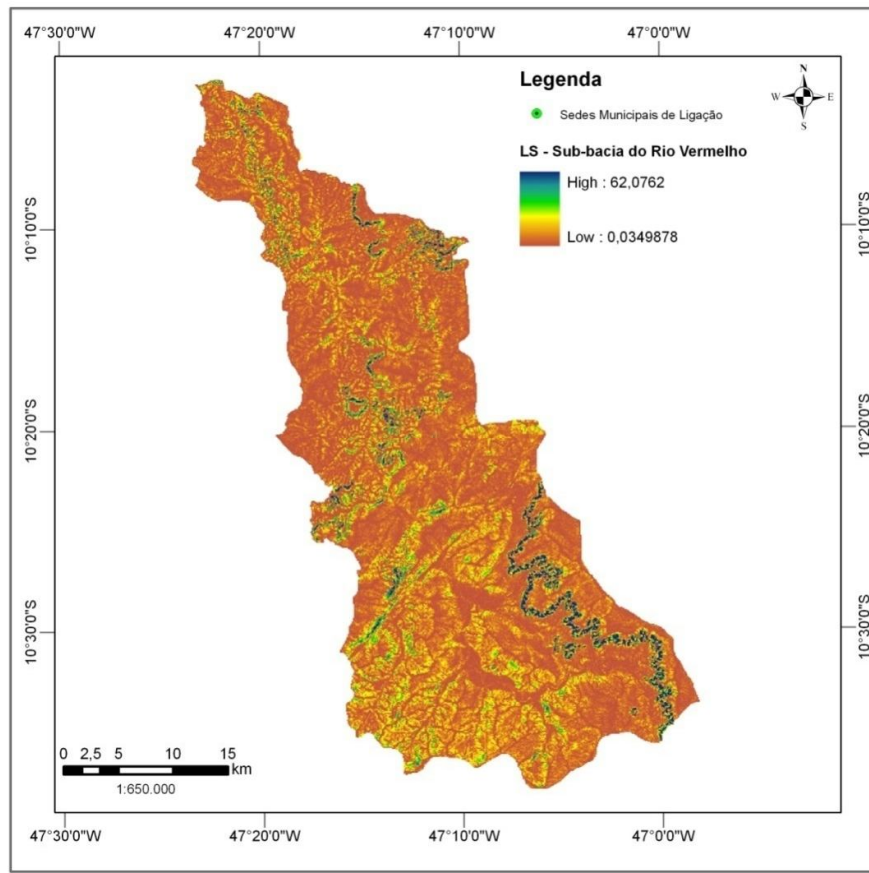


Figura 7. Fator topográfico – LS da sub-bacia do rio Vermelho.
 Fonte: Dados da pesquisa, 2009.

(iv) Cálculo do fator uso e manejo do solo(C)

Cabe aqui ressaltar a grande amplitude de variação entre os usos ou mesmo para um uso específico, no último caso, atribuído a diferentes técnicas de manejo e aos períodos que as mesmas são implantadas, como verificado por Fujiwara (2002). Portanto, através do reagrupamento dos potenciais de uso da terra proposto pelo Zoneamento Ecológico Econômico (TOCANTINS, 2008) utilizou-se os valores de C de diversos autores para reclassificação conforme explicitado na tabela 12. No ArcGisArcInfo foram realizadas duas operações: *Spatial Analyst* → *Reclassify*.

TABELA 12.
Valores do fator C para diferentes potenciais de uso do solo

POTENCIAL DE USOS DO SOLO - ZEE	POTENCIAL DE USOS DO SOLO	FATOR C
Culturas de ciclo longo e curto	Agricultura	0,24 (Wischmeier & Smith,1978)
Pecuária extensiva e intensiva	Pastagem	0,05 (Wischmeier & Smith,1978)
Rio Tocantins	Corpos d'água	0,00
-	Área urbana, baixa densidade	0,03 (Wischmeier & Smith,1978)
-	Solo descoberto	1,00 (Wischmeier & Smith,1978)
Conservação Natural	Cerrado	0,042 (Farinasso et al., 2006)
Silvicultura	Reflorestamento	0,03241 (Silva, 2007)

Fonte: Autores diversos.

(v) Cálculo da USLE – A

De posse de todos os fatores paramétricos que compõem a equação USLE foi efetuado o cálculo da produção de sedimentos com o auxílio do ArcGisArcInfo, *Spatial Analyst* → *Raster Calculator*: $[Layer R] * [Layer K] * [Layer LS] * [Layer C] * 1$ tendo como resultado da aplicação na sub-bacia do rio Vermelho a figura 8. O valor unitário 1 refere-se ao fator prática de conservação do solo (P), considerando práticas de plantio morro abaixo, por falta de informações consistentes.

Foi obtida a produção média de sedimentos por célula, considerando o uso potencial do solo para cada sub-bacia, segundo classificação do Zoneamento Ecológico Econômico da SEPLAN (TOCANTINS, 2008).

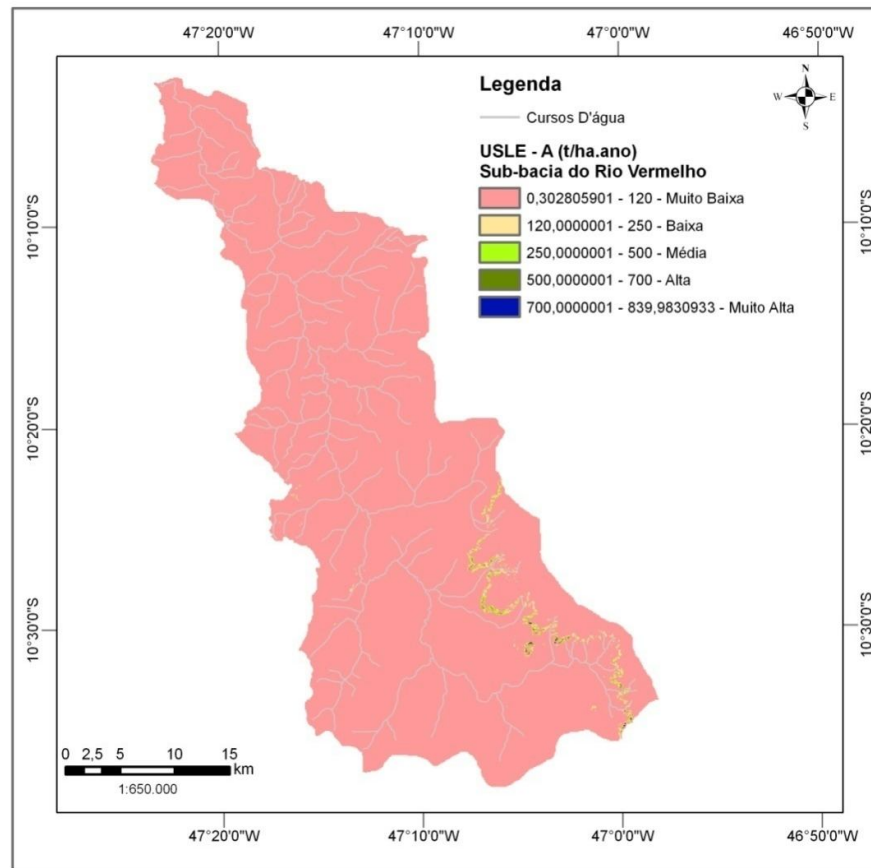


Figura 8. Perdas de solo – A (t/ha.ano) na sub-bacia do rio Vermelho.
Fonte: Dados da pesquisa, 2009.

4.3.4.2 Aporte de sedimentos - Movimentação Lateral

A relação existente entre perdas de solos de uma bacia (balanço vertical) e a produção de sedimentos, medida no exutório dessa bacia é definida como Relação de Liberação de Sedimentos – SDR.

Obteve-se os valores de aporte de sedimentos segundo proposto por Ferro & Minacapilli (1995) e Ferro (1997), de duas formas com o uso do tempo de deslocamento (equação 5) e com a substituição do tempo pela distância (equação 15)

A. SDR com o uso do tempo de deslocamento.

O SDR_i corresponde a fração de produção de sedimentos para célula i , conforme a estrutura do banco de dados deste trabalho, foi definido como:

$$SDR_i = \exp(-\beta t_i) \quad (5)$$

Onde:

β é um parâmetro que representa a morfologia da bacia, assumindo-se o valor igual a 1 (MUTUA E KLIK, 2006, JAIN, 2000);

t_i é o tempo de deslocamento ao longo da linha de escoamento, como segue na equação (6)

$$t_j = \sum_{m=1}^{M_j} l_m / V_m \quad (6)$$

$$V = \frac{R_h^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (14)$$

Estimou-se a velocidade com a fórmula de *Chezy* com o uso do Coeficiente de *Manning*, de acordo com a fórmula 14. O coeficiente de rugosidade é o parâmetro mais importante da equação de *Manning*. Depende da cobertura vegetal ou uso do solo do tipo da área, em seguida a figura 9 apresenta o mapa do coeficiente de rugosidade (n), obtido da combinação do tema uso potencial da terra e canal de acordo com a tabela 13 (CIRILO *et al.*, 2003; FLECKENSTEIN, 1998; e SIMÕES, 2001 *apud* ENGMAN, 1986). Após a preparação desta matriz passou-se a obtenção das outras matrizes (raio hidráulico – Rh e da declividade – S)

O coeficiente de rugosidade foi obtido através da reclassificação do mapa de potencial de uso do solo em junção com a drenagem extraída do mosaico SRTM da área de estudo. Os valores utilizados na reclassificação seguem na tabela 13.

TABELA 13.
Coefficiente de rugosidade para canais naturais

TIPO DE USO DO SOLO	CLASSIFICAÇÃO	RUGOSIDADE
	SEPLAN	n
Vegetação densa máxima (CIRILO, et al.,2003)	Conservação Natural e Silvicultura	0,16
Corpos d'água (FLECKENSTEIN,1998)	Rio Tocantins	0,01
Pastagem (CIRILO, et al.,2003)	Pecuária Extensiva e Intensiva	0,025
Culturas mínimas (CIRILO, et al.,2003)	Culturas de ciclo curto e longo	0,02
Áreas sem uso ou urbana (SIMÕES, 2001 <i>apud</i> ENGMAN, 1986)	-	0,01

Fonte: autores diversos

O outro parâmetro da equação de Manning é o Raio hidráulico que em escoamentos livres é a razão entre a área molhada ou de fluxo e o perímetro molhado. Porém, neste estudo, para obter a velocidade de toda a bacia, foram valorados além dos canais de drenagem as áreas de terra, ou seja, (a) drenagens naturais e (b) escoamento superficial.

Em escoamentos livres, nos canais de seção retangulares, faz-se o uso da largura como a profundidade de fluxo. Assim nas áreas terrestres a largura destas áreas está sendo tratada como profundidade e considera-se que o fluxo que forma uma fina camada com profundidade de 1mm, ou 0,001m.

Com o uso do *flowaccumulation* no *ArclInfo-ArMap* obteve-se a rede de drenagem, onde o valor de cada célula indica o número de células que contribuem com suas águas superficiais. Delimitou-se um número pré-definido de células que iniciam rede fluvial, baseado em Usul (2002) que utilizou 1.000 células na grade de 10 m x 10 m totalizando área de 0,10 Km² e Fleckenstein (1998) que propôs início de drenagem com 100 células, formando uma área de 0,09 Km² (grade de 30 m x 30 m).

Este estudo propôs o início de drenagens a partir de 10 células, em uma grade de 90 m x 90 m, tamanho do pixel da base utilizada – SRTM, Miranda (2005), totalizando uma área de contribuição de 0,081 Km² ou 81.000 m² ou 8ha.

Para as células restantes da matriz acumulada, que não estão formando redes de fluxo, a profundidade do escoamento superficial de 0,001 m é atribuída como valor R.

O Raio Hidráulico foi obtido através do MNT, com aplicação das ferramentas do *flowaccumulation* e *reclassify* do *ArcGis*, utilizando os valores da tabela 14, para cada sub-bacia, da área de estudo.

TABELA 14.
Valores de Raio Hidráulico atribuídos a áreas de drenagem agrupadas.

Valores de Fluxo Acumulado			Raio Hidráulico
30 x 30 MNT (Fleckenstein, 1998)	10 X 10 MNT (Usul, 2002)	90 x 90 MNT (autora, 2010)	
0 - 100	0 – 1000	0 - 10	0,001
100 – 500	1000 – 5000	10 - 50	0,04
500 – 1500	5000 – 15000	50 - 150	0,08
1500 – 3500	15000 – 35000	150 - 350	0,12
> 3500	> 35000	>350	0,25

Fonte: Usul (2002), Fleckenstein (1998) e autora (2010).

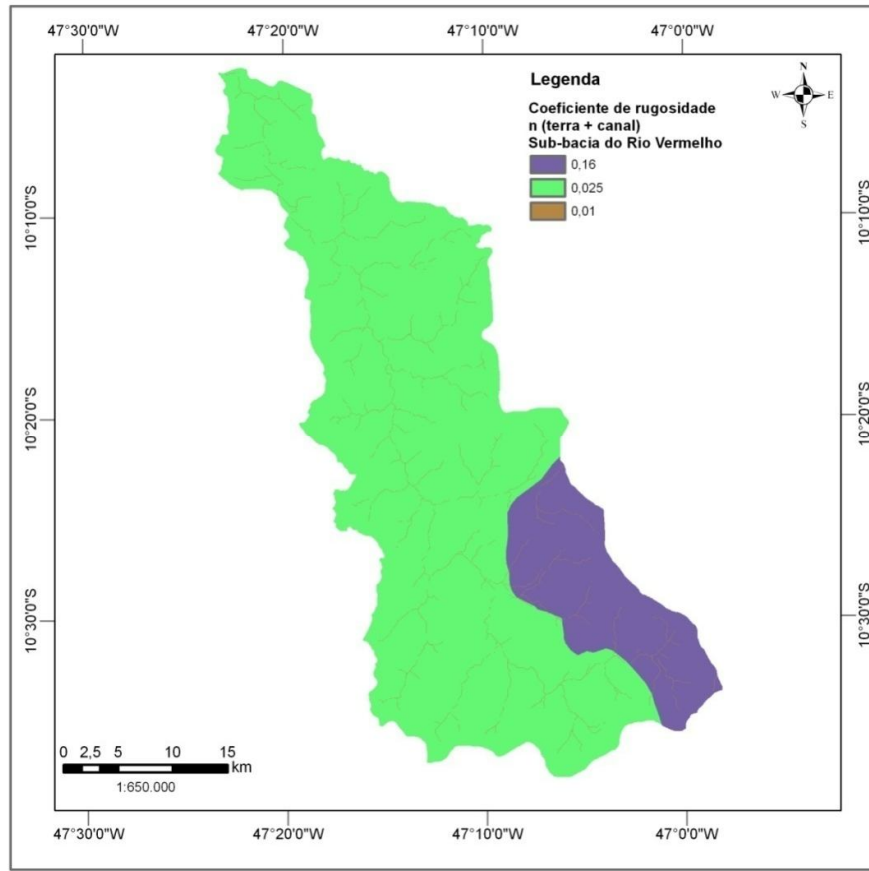


Figura 9. Coeficiente de Manning combinado (terra e canal) da sub-bacia do rio Vermelho.
Fonte: Dados da pesquisa, 2009

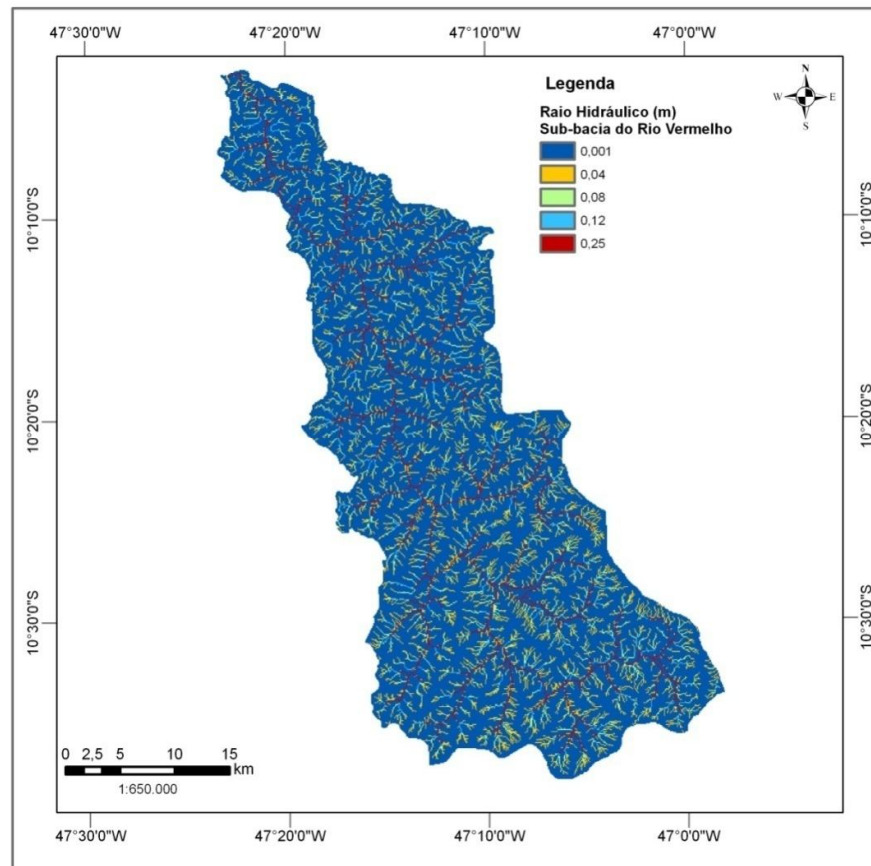


Figura 10. Raio hidráulico da sub-bacia do rio Vermelho.
Fonte: Dados da pesquisa, 2009.

Através da equação (14) obteve-se a velocidade de escoamento.

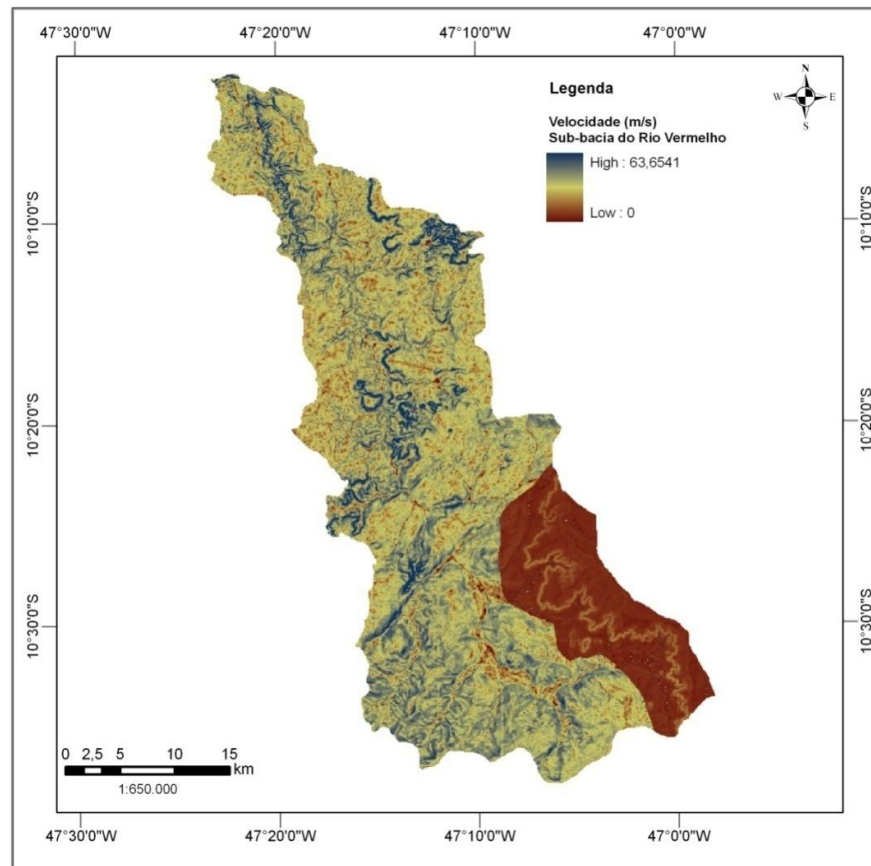


Figura 11. Mapa da velocidade de escoamento da sub-bacia do rio Vermelho.
 Fonte: Dados da pesquisa, 2009.

Foram obtidos os valores do SDR para cada sub-bacia com a aplicação da equação (7) que multiplicado pela produção total de sedimentos (A) resulta no aporte de sedimentos, de acordo com as etapas implementadas no ArcGis-ArcInfo:

1. Extração de drenagem a partir das imagens SRTM:
 - A partir das imagens com as depressões removidas e o fluxo de direção gerado, proceder: *Spatial Analyst Tool*→*Hydrology*→*Stream Order*. No campo *Input Stream Raster*→Imagem com as depressões removidas; *Input flow direction raster*→Arquivo *flow direction*; *Method of stream ordering*→*strahler*.
 - A drenagem foi separada em ordens, devido ao excesso de informação foi aplicada a ferramenta *Con*, através do seguinte passo: *Spatial Analyst Tools*→*Condicional*→*Con: input* arquivo gerado a partir do *stream order*→*Expression* "value > 4. *Input true raster*→

- stream order*. Não use input false. Output: Arquivo *raster* de condição.
2. Obtenção do *raster* de distância à drenagem mais próxima: *Spatial Analyst Tools*→*Distance*→*Path Distance* , no campo *Input raster* inserir o *raster* de drenagem obtido no item 1.
 3. Produção do *raster* de rugosidade do n canal e n terra:
 - Reclassificação da drenagem do mapa de potencial de uso atribuindo valor nulo: *Spatial Analyst*→*Reclassify*. Preencher *new values* com 0.
 - Obtenção do mapa de potencial de uso sobreposto à drenagem: *Spatial Analyst*→*Raster Calculator*:
 $UsoTerraCanal=[potencialdouso]*[drenagemSRTM];$
 - Reclassificação conforme tabela de rugosidade: *Spatial Analyst*→*Reclassify*.
 4. Reclassificação para Raio hidráulico.
 - A partir do arquivo de drenagem acumulada – *flowaccumulation* de cada sub-bacia, efetuou-se o agrupamento proposto neste estudo, considerando o início da formação das drenagens a partir de 10 células de contribuição. *Spatial Analyst*→*Reclassify*→*Classif*→*5classes*→ no campo *break values*:10; 50; 150; 350; >350. Preencher com os valores da tabela de Raio hidráulico *New values*: 0,001; 0,04; 0,08; 0,012; 0,25.
 5. Obtenção da declividade – S em m/m: *Spatial Analyst*→*Raster Calculator*→ $slope_mm=[slope_mos]/100$. Recortar o mosaico para as unidades de sub-bacias.
 6. Aplicação da fórmula de *Manning* (14) para obtenção da velocidade: *Spatial Analyst*→*Raster Calculator* $V=(Pow([Rh], (2/3))*Pow([S], 0,5)) / [ntc]$
 7. Cálculo do tempo de deslocamento ao longo da linha de escoamento e somatório do tempo de deslocamento (fluxo acumulado) para obtenção do tempo de fluxo t_i a partir da célula i até o seu exutório:
 - *Spatial Analyst*→*Raster Calculator* $t_i=[PathDistance]/[velocidade];$

8. A opção *Spatial Analyst*→*Raster Calculator*: $SDR = \text{Exp}([\text{tempo de deslocamento } t_{ij}]^* - 1)$.
9. Para avaliar cada sub-bacia, utilizou-se como parâmetro a relação de aporte de sedimento tendo sido efetuadas as operações *Spatial Analyst*→*Raster Calculator*: $Y = [\text{arquivo Flow Accumulation}] ([SDR]^*[A - USLE])$ e por fim *Spatial Analyst*→*Raster Calculator* $SDR_{\text{bacia}} = ([Y]/[A])^*100$.

Cada sub-bacia foi reclassificada, inferindo valores de 1 a 10 de acordo com as classes de aporte de sedimentos, quanto maior o SDR maior o nível de restrição de passagem da rodovia. Foi realizada a operação: *Spatial Analyst*→*Reclassify*.

TABELA 16
Aporte de sedimentos e taxa de liberação de sedimentos em função do tempo, correlacionado ao grau de penalização da área do estudo – região Jalapão – TO.

Sub-bacias	Y (t/ano) (tempo)	SDR (%)(tempo)	GRAU DE PENALIZAÇÃO
T-9 Bacia do Rio das Balsas	638.101,4375	1,49	4
T-9 Sub-bacia Córrego Caracol	2.442.885,500	91,45	10
T-9 Sub-bacia Rio Ponte Altinha	6.901,6162	0,38	1
T-9 Sub-bacia Rio Ponte Alta	64.227,7734	1,10	3
T-10 Bacia do Rio Sono	229.323,2813	2,08	5
T-10 Sub-bacia Rio Soninho2	33.314,4219	0,61	2
T-10 Sub-bacia Rio Caracol	4.760.960,0000	91,69	10
T-10 Sub-bacia Rio Monte Santo	7.598,8345	1,42	4
T-10 Sub-bacia do Rio Soninho3	8.378,4990	0,78	2
T-10 Sub-bacia Rio Novo	41.434,6836	0,47	1
T-10 Sub-bacia Rio Preto	1.557.319,375	68,57	9
T-10 Sub-bacia Rio Soninho	11.577,4580	0,89	3
T-10 Sub-bacia Rio Vermelho	16.791,8672	0,98	3

Fonte: Dados da pesquisa, 2010.

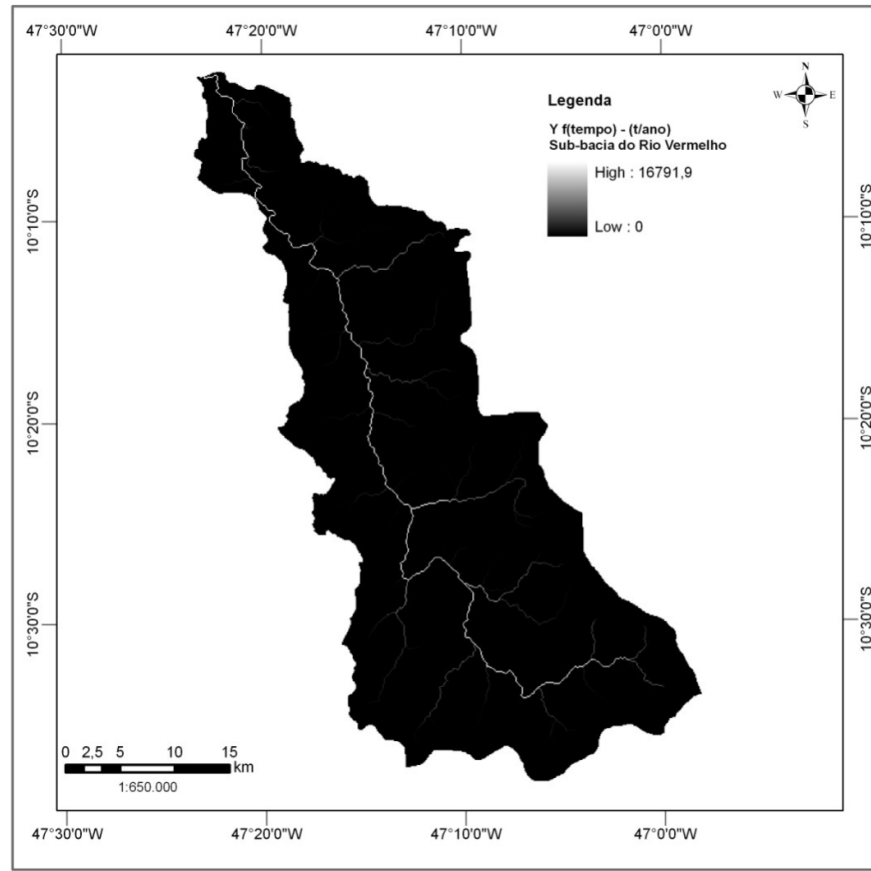


Figura 12. Mapa do aporte de sedimentos em função do tempo para a sub-bacia do rio Vermelho. Fonte: Dados da pesquisa, 2009.

B – SDR com a distância.

A substituição do tempo de deslocamento pela distância de cada célula i a drenagem mais próxima, proporcionou a obtenção do aporte de sedimentos de cada sub-bacia, conforme resultado da tabela 16.

$$SDR_i = \exp(-\beta d_i) \quad (15)$$

A drenagem extraída a partir das imagens SRTM e a distância obtidas no procedimento:

- A partir das imagens com as depressões removidas e o fluxo de direção gerado, proceder: *Spatial Analyst Tool*→*Hydrology*→*Stream Order*. No campo *Input Stream Raster*→Imagem com as depressões

removidas; *Input flow direction raster*→Arquivo *flow direction*; *Method of stream ordering*→*strahler*.

- A drenagem foi separada em ordens, devido ao excesso de informação foi aplicada a ferramenta *Con*, através do seguinte passo:
- *Spatial Analyst Tools*→*Condiciona*→*Con*: *input* arquivo gerado a partir do *stream order*→*Expression* “*value > 4*”. *Input true raster*→*stream order*. Não use *input false*. *Output*: Arquivo *raster* de condição.
- Obtenção do *raster* de distância à drenagem mais próxima: *Spatial Analyst Tools*→*Distance*→*Path Distance* , no campo *Input raster* inserir o *raster* de drenagem obtido no item 1.

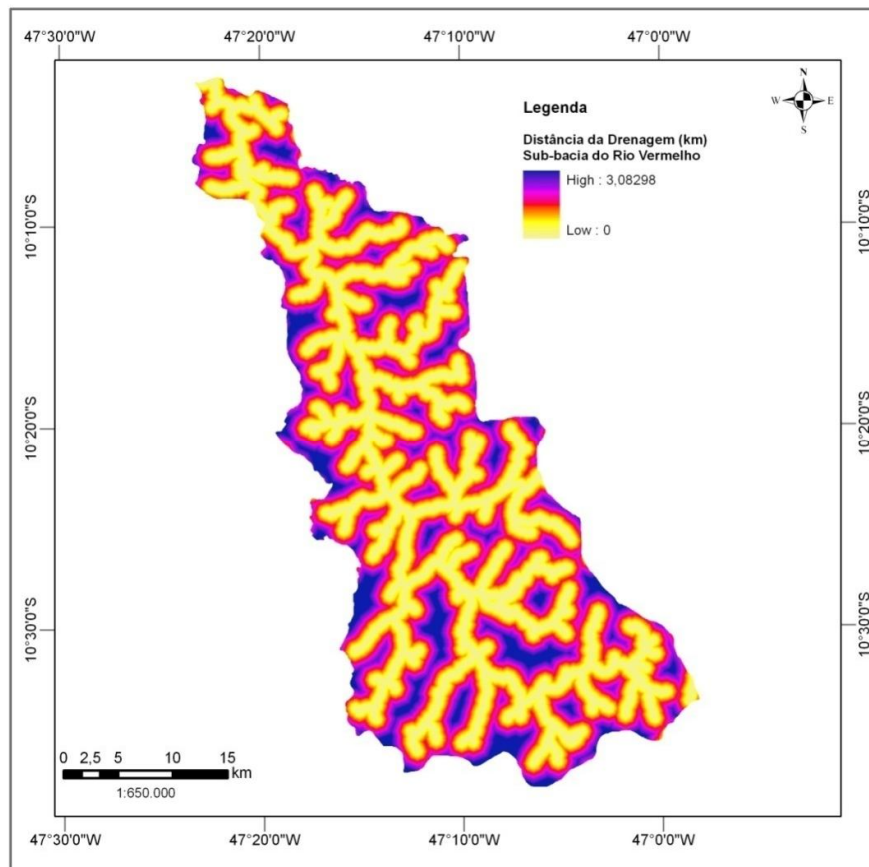


Figura 13. Mapa das distâncias à drenagem da sub-bacia do rio Vermelho.
Fonte: Dados da pesquisa, 2010.

As operações realizadas no ArcInfo-ArcMap foram dividir a distância por 1000, transformando de m para km e fazer a equação exponencial 15.

- *Spatial Analyst* → *Raster Calculator* $SDR = \text{Exp}([Distância da rede de drenagem]^* - 1)/1000$. Seguem os resultados obtidos e a reclassificação das sub-bacias por grau de atrito.

Procedeu-se os mesmos passos para obtenção do Y e do SDR e atribuição de grau de penalização às bacias, conforme utilizado na equação em função do tempo.

TABELA 17.
Reclassificação dos indicadores de aporte de sedimentos por sub-bacia e respectivo grau de penalização em função da distância.

	RESTRIÇÃO SUB-BACIA DISSERTAÇÃO	Y (t/ano) (distância)	RELAÇÃO DE LIBERAÇÃO DE SEDIMENTOS %	GRAU DE PENALIZAÇÃO
T-10	Sub-bacia Rio Preto	887.700	39,09	(3)
T-10	Sub-bacia Rio Novo	3.695.089	41,83	(4)
T-10	Sub-bacia Rio Soninho 2	2.552.318	47,00	(4)
T-9	Sub-bacia Rio Ponte Altinha	853.814	47,13	(5)
T-10	Sub-bacia Rio Caracol	2.536.937	48,86	(6)
T-10	Sub-bacia Rio Vermelho	876.449	51,17	(6)
T-10	Sub-bacia do Rio Soninho 3	555.546	51,53	(7)
T-10	Sub-bacia Rio Soninho	679.048	51,94	(7)
T-9	Sub-bacia Rio Ponte Alta	3.046.370	52,33	(8)
T-9	Bacia do Rio das Balsas	23.207.900	54,05	(8)
T-10	Bacia do Rio Sono	7.942.678	55,23	(9)
T-10	Sub-bacia Rio Monte Santo	298.415	55,83	(9)
T-9	Sub-bacia Córrego Caracol	1.508.316	56,47	(10)

Fonte: Dados da pesquisa, 2010.

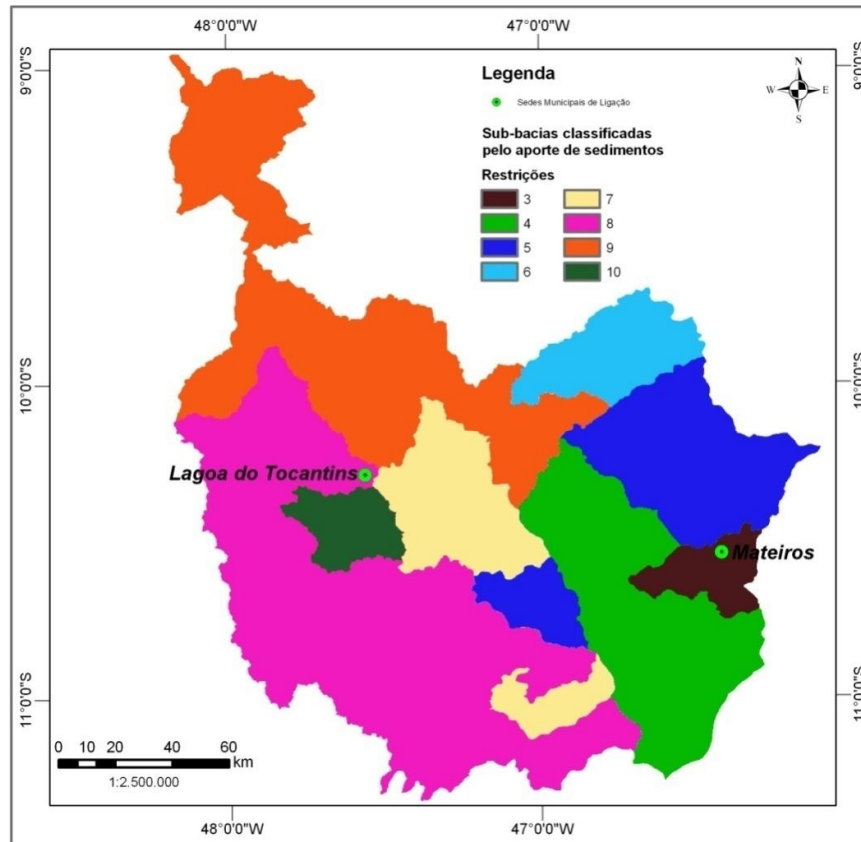


Figura 14. Mapa da classificação das bacias na área do estudo conforme taxa de aporte de sedimentos em função da distância – região Jalapão – TO.
Fonte: Dados da pesquisa, 2009.

4.3.5 Otimização do traçado da obra rodoviária

A partir das informações obtidas nas etapas anteriores procedeu-se a aplicação da metodologia de SIG “Caminhos de Mínimo Custo” elaborando assim, um cenário para cada critério: aspecto ambiental, aspecto construtivo e aspecto socioeconômico.

Para a melhor alternativa de traçado foi obtido o caminho de menor custo, considerando os atritos aplicados. Com o uso das ferramentas do *ArcGis-ArcMap-ArcInfo* o módulo *distance* produziu valores de distância medidos em metros até a sede municipal Lagoa do Tocantins e o *cost* calculou a distância em termos de medida de custo indicando o custo relativo do deslocamento através de cada célula (*pixel*).

De posse das superfícies de custo, utilizou-se o comando *pathway* para encontrar o caminho de menor custo entre qualquer célula ou grupo de células e os pontos a serem interligados.

- Criar matriz de distância a partir de Lagoa do Tocantins *Spatial Analyst*→*Distance*→*Cost Weighted*, preencher o campo *Distance to* com a *shape* do ponto de origem a ser ligado →*Lagoa do Tocantins*, preencher o campo de pesos *Cost raster* →*ambientais*, ativar *create direction* e apontar para o diretório onde o arquivo será salvo;
- Obter o caminho mínimo: *Spatial Analyst*→*Distance*→*Shortest Path*, preencher o campo de *Path to* com o destino *Mateiros*, preencher o campo de *Cost Distance* com a matriz de distância obtida anteriormente, preencher *Cost direction raster* com a matriz de direção gerado anteriormente e no campo *Path type* usar *For each cell*.

A partir dos 4 mapas de atrito do aspecto ambiental obteve-se uma matriz única ambiental com as seguintes operações de soma: *Spatial analyst*→*Raster Calculator* *Atrito amb*=(*[aporte sedimentos]*+*[app nascentes]*+*[uc]*+*[dificuldade - uso e ocupação]*+*[zona tampão]*).

Efetuaram-se os mesmos procedimentos para o aspecto construtivo e finalmente aplicou-se o cálculo do caminho de mínimo custo sobre os mapas de custo específicos e obtendo-se a alternativas de traçado para cada aspecto e combinados integrando todos os quesitos estudados.

Para a otimização do traçado final foi aplicado o algoritmo de caminho de mínimo custo, através da soma dentro dos aspectos e a ponderação entre os aspectos para igualar os pesos.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.

A vontade de promover a construção de uma sociedade mais sustentável movida pela busca de ações com menor agressão ao meio ambiente tem fundamentado as discussões mundiais sobre o assunto. Uma vez verificado que problemas ambientais decorrem, em grande parte, das carências do processo decisório que orienta a utilização dos recursos ambientais este trabalho propôs utilizar uma importante ferramenta da política ambiental, a avaliação de impacto ambiental estratégica para o setor de transporte, especificamente para projetos rodoviários que induzem o desenvolvimento econômico regional, através do uso de Sistema de Informação Geográfica.

A contribuição deste projeto é dada através do dimensionamento dos impactos efetivos da rodovia TO-247, através da ampliação das áreas de influência para além das faixas lineares, acrescentando a avaliação da sensibilidade ambiental das bacias hidrográficas ou o custo ambiental respectivo para a otimização do traçado de empreendimentos rodoviários.

A área de influência da rodovia foi estendida para as sub-bacias impactadas através da modificação do uso do solo movida pela redução dos custos de transporte induzida pela melhoria de infraestrutura viária na região do Jalapão - TO.

Foram obtidas estimativas de carga de sedimentos por bacia, que potencialmente viriam a assorear os cursos d'água devido a conversão para uso potencial das terras, por meio da classificação das sub-bacias, através da aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo e da Relação de Aporte de Sedimentos .

O uso de ferramentas do ArcGisArcMap, através de imagens SRTM e da classificação dos mapas de potencial de uso do solo, pedologia, hidrografia e de declividade para obtenção dos dados, propiciaram a obtenção dos resultados abaixo descritos na tabela 18.

TABELA 18.

Valores de perdas de solo, obtidos através da equação universal de perdas de solo – USLE para as sub-bacias da área do estudo na região Jalapão - TO.

	Sub-bacias	USLE-acumulada t/ano	Y – t/ano f(distância)	SDR (%) f(dist.)	Y- t/ano f(tempo)	SDR (%) f(tempo)
T-9	Bacia do Rio das Balsas	42.935.264,0000	23.207.900,0000	54,05	638.101,4375	1,49
T-9	Sub-bacia Córrego Caracol	2.671.197,0000	1.508.316,7500	56,47	2.442.885,500	91,45
T-9	Sub-bacia Rio Ponte Altinha	1.811.669,7500	853.814,1250	47,13	6.901,6162	0,38
T-9	Sub-bacia Rio Ponte Alta	5.821.944,5000	3.046.370,2500	52,33	64.227,7734	1,10
T-10	Bacia do Rio Sono	14.382.113,0000	7.942.678,5000	55,23	229.323,2813	2,08
T-10	Sub-bacia Rio Soninho2	5.430.590,5000	2.552.318,5000	47,00	33.314,4219	0,61
T-10	Sub-bacia Rio Caracol	5.192.525,0000	2.536.937,7500	48,86	4.760.960,0000	91,69
T-10	Sub-bacia Rio Monte Santo	534.507,3125	298.415,3125	55,83	7.598,8345	1,42
T-10	Sub-bacia do Rio Soninho3	1.078.141,2500	555.546,3750	51,53	8.378,4990	0,78
T-10	Sub-bacia Rio Novo	8.833.079,0000	3.695.089,7500	41,83	41.434,6836	0,47
T-10	Sub-bacia Rio Preto	2.271.181,5000	887.700,6250	39,09	1.557.319,375	68,57
T-10	Sub-bacia Rio Soninho	1.307.405,0000	679.048,8750	51,94	11.577,4580	0,89
T-10	Sub-bacia Rio Vermelho	1.712.663,1250	876.449,0625	51,17	16.791,8672	0,98

Fonte: Dados da pesquisa (2010).

Foi observada grande variabilidade nos valores de produção média de sedimentos entre as 13 sub-bacias avaliadas, já tendo sido verificado por outros autores (FARINASSO et al.,2006 e COSTA et al., 2007) que a utilização da USLE serve para verificações de graus de susceptibilidade à erosão qualitativamente e geograficamente em grandes áreas ou escalas regionais, não quantitativamente.

Para o estudo, os valores são indícios da quantidade de sedimento produzida e foi utilizado para efeito comparativo de suscetibilidade das sub-bacias à ocupação prevista pelo potencial de uso do solo. No caso, a sub-bacia do rio das Balsas destacou-se com a maior produção total anual de sedimentos de 42.965.264 t/ano e a sub-bacia do rio Monte Santo com a menor produção 534.507,3125 t/ano. Porém, foi fundamental o conhecimento da relação de liberação de sedimentos, pois refletiu o potencial de retenção destes sedimentos em cada área estudada e o aporte aos cursos d'água, tendo sido pontuada com pesos as sub-bacias de acordo com esta taxa.

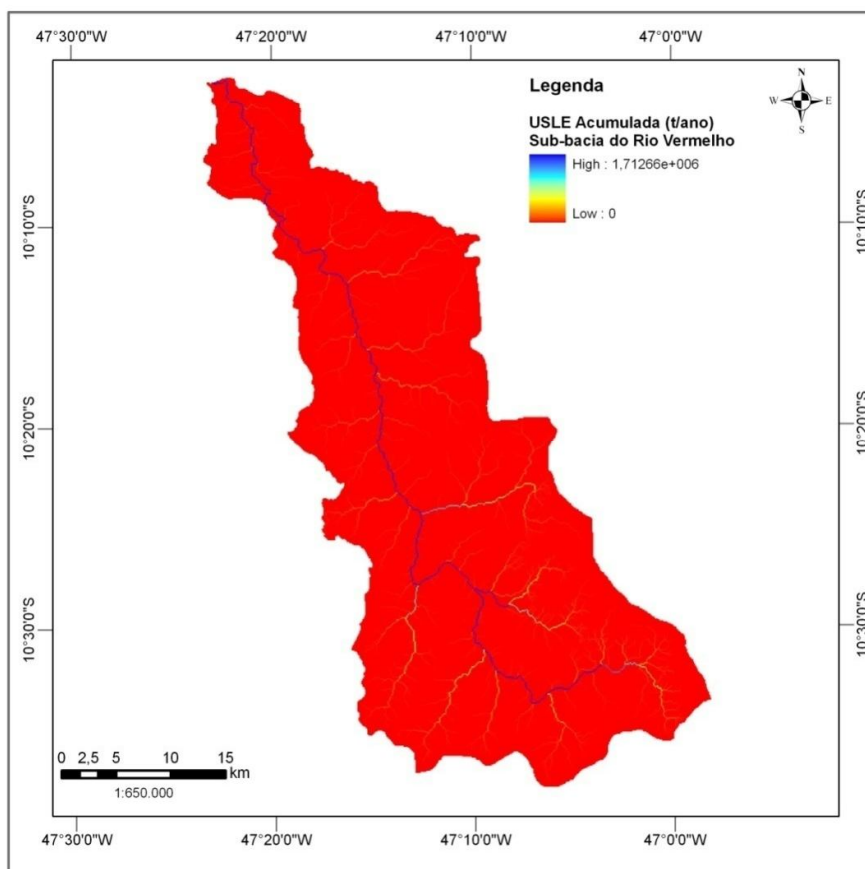


Figura 15. Mapa da produção total de sedimentos da sub-bacia do rio Vermelho – região Jalapão – TO. Fonte: Dados da pesquisa, 2009.

A relação de aporte de sedimentos foi obtida através de dois métodos, com o decaimento exponencial em função da distância e no segundo caso, em função do tempo. Com a aplicação da distância os valores variaram de 39,09% a 56,47%, classificando as sub-bacias do rio Preto e do córrego Caracol, com menor e maior restrição de passagem da rodovia respectivamente. Neste caso, a sub-bacia do córrego Caracol contribuiria com o aporte de 2.442.885,5 t de sedimentos em um ano, enquanto que a do rio Preto 877.700 t/ano (Tabela 18).

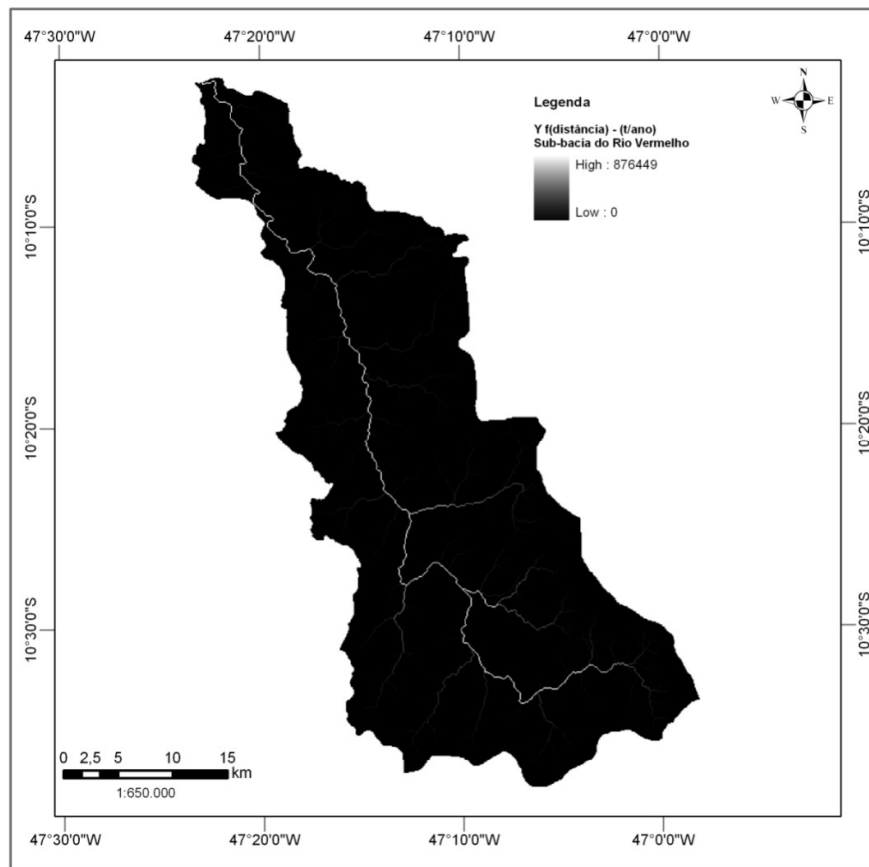


Figura 16. Mapa do aporte total de sedimentos em função da distância da sub-bacia do rio Vermelho – região Jalapão – TO.
Fonte: Dados da pesquisa, 2009.

Os valores de aporte de sedimentos em função da distância variaram em percentuais mínimos a máximos entre 0,61% a 91,69%, respectivamente, apesar de levar em consideração maior número de fatores, o que se esperava uma maior precisão de resultados, porém mostrou-se ineficiente para a classificação das bacias,

tendo sido descartados estes dados. As velocidades de escoamento obtidas com o uso do coeficiente de Manning resultaram em altos valores absolutos, inapropriados para a situação específica. Outros trabalhos poderão ser desenvolvidos para avaliar as metodologias estudadas, considerando bacias com dimensões menores e uso e cobertura do solo, mais variável (Tabela 18).

TABELA 19. Comparativo de grau de penalização dos aspectos ambientais, construtivos e socioeconômicos.

Nível de restrição	Grau de penalização	ASPECTOS AMBIENTAIS				ASPECTOS CONSTRUTIVOS		ASPECTOS SOCIO-ECONÔMICOS
		USO DO SOLO	UC	APP DAS NASCENTES	APORTE - SDR BACIAS	TRAVESSIA DE CURSOS D'ÁGUA	GRADIENTE DE RAMPA	PONTOS TURÍSTICOS
Barreira Absoluta	1000	Praias e Dunas (1000)	Estação Ecológica (1000)	APP de todas as nascentes (1000)				Dunas e Cachoeira (< 1km) (1000)
Nenhum	1	Corpos d'água (1)	Sem uc (1)	Áreas além do 100m da zona tampão. (1)			Declive ≤ 10% (1)	5 > D ≤ 1 (1)
Baixo	2	Áreas rurais antropizadas (2)				Bueiros tubulares - BSTC (2)	10% > declive ≤ 15% e associações (2)	10 > D ≤ 5 (2)
	3	Vegetação Nativa - Campestre (3)	Área de Proteção Ambiental (3)		Rio Preto (3)			15 > D ≤ 10 (3)
Médio	4				Rio Novo e do Rio Soninho 2 (4)		15% > declive ≤ 30% e ass. (5)	20 Km > D ≤ 15 Km (4)
	5	Vegetação Nativa – florestal e savânica (5)			Rio Ponte Altinha (5)	Bueiros celulares - BSCC ou galerias (5)		
Alto	6	Vegetação Nativa ass. corpos d'água (6)			Rio Caracol e do Rio Vermelho (6)	Pontes - PCA (6)		D > 20 km (6)
	7	Áreas urbanas (7)			Rio Soninho 3 e do Rio Soninho (7)	Pontes - PCA (7)		
Muito Alto	8				Rio Ponte Alta e Rio das Balsas (8)		30% > declive ≤ 45% (8)	
	9				Rio Sono e Rio Monte Santo (9)			
Excessivo	10		Parque e Área Indígena (10)	Zona tampão - do curso d'água (10)	Córrego Caracol (10)		Declive > 45% (10)	

Fonte: Dados da pesquisa, 2010.

5.1 Análise comparativa das alternativas locais

Para análise comparativa dos caminhos de mínimo custo, onde a alternativa resultante como melhor traçado foi obtido como distância de custo e caminhos de mínimo custo, considerando-se as superfícies de atrito propostas, sendo que cada pixel representa a distância, segundo uma direção em diagonal ou paralela, dividiu-se os resultados da seguinte forma:

- Alternativa A: caminho de mínimo custo considerando os aspectos ambientais;
- Alternativa B: caminho de mínimo custo para aspectos construtivos;
- Alternativa C: caminho de mínimo custo para aspecto socioeconômico;
- Alternativa D: caminho de mínimo custo para combinação entre os aspectos ambientais, construtivos e socioeconômico.

5.1.1 Avaliação da alternativa A – aspectos ambientais

Este traçado integrou 4 aspectos ambientais, sendo os atritos referentes à cobertura e uso do solo, proteção das APP's das nascentes e zona tampão, áreas protegidas e capacidade das sub-bacias em aporte de sedimentos.

O traçado foi a resultante da soma dos graus atribuídos aos 4 mapas de atrito conforme a nível de restrição.

A Figura 17 demonstra o resultado alcançado na pesquisa, considerando exclusivamente os aspectos ambientais.

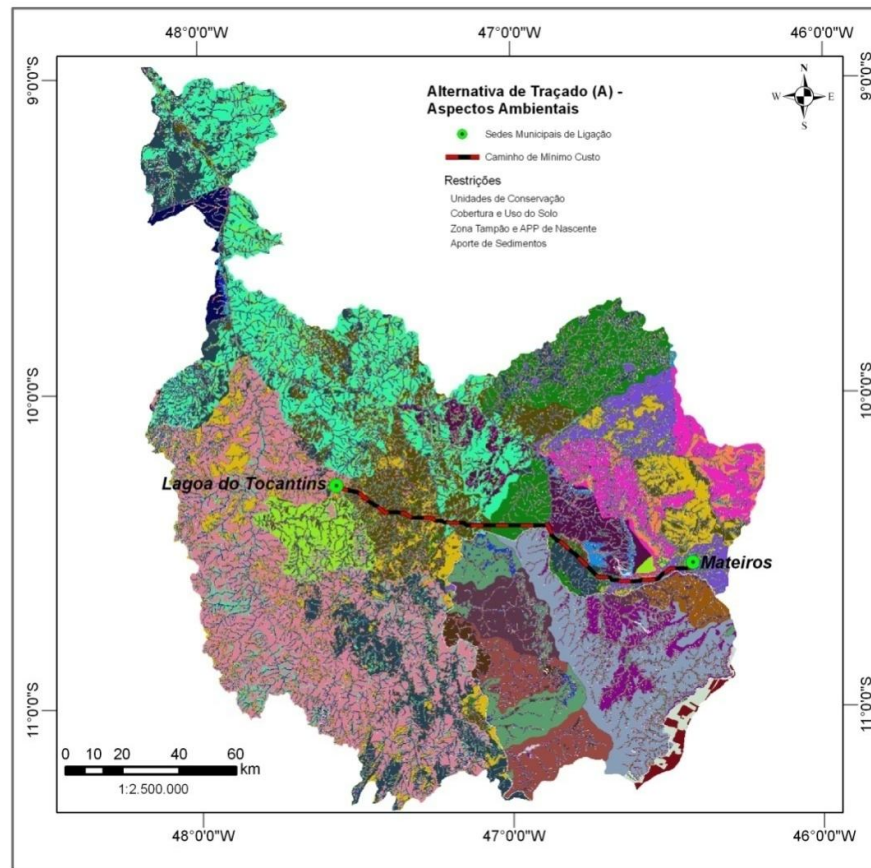


Figura 17. Mapa da Alternativa A – aspecto ambiental para a rodovia TO-247, trecho Lagoa do Tocantins / Mateiros.
Fonte: Dados da pesquisa, 2010.

Tendo sido identificado impactos ambientais nos cursos d'água devido à proximidade das rodovias por Catellani, Targa e Batista (2005) e recomendado por Simões (2001) um afastamento mínimo de 100m dos mesmos para instalação de rodovias, como zona tampão de maior eficiência, além da legislação de proteção das APP's das nascentes, obteve-se o resultado verificado na Figura 18 de detalhamento da alternativa A.

O caminho de mínimo custo ambiental mostrou eficiência para proteção dos temas propostos.

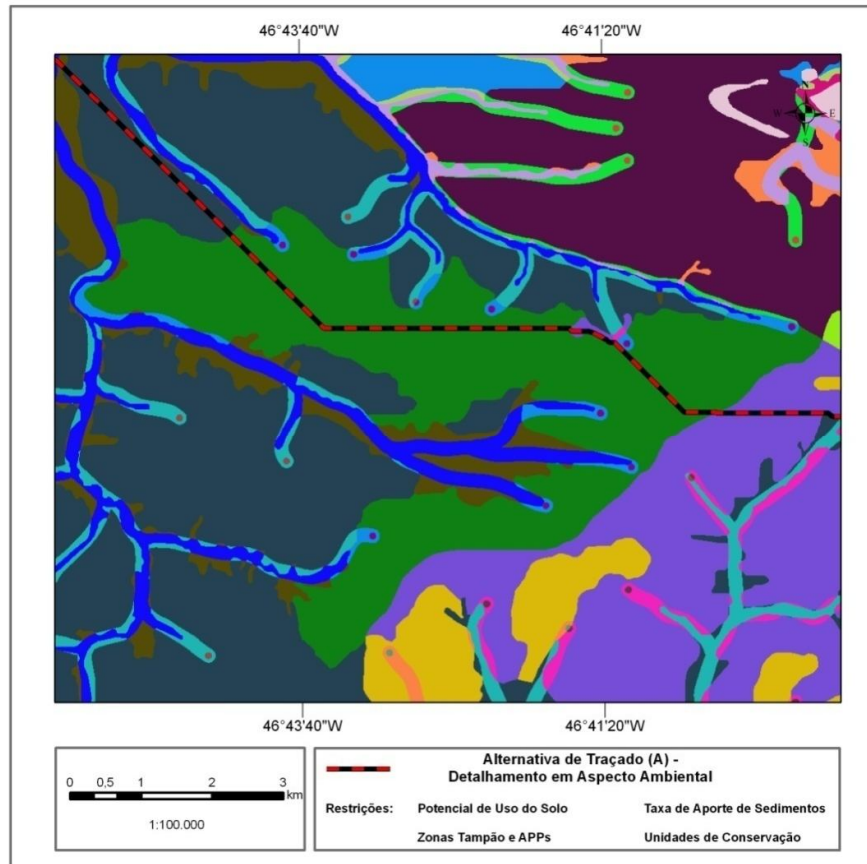


Figura 18. Detalhamento da Alternativa A para a rodovia TO-247, trecho Lagoa do Tocantins / Mateiros. Fonte: Dados da pesquisa, 2010.

Ainda neste aspecto, verificam-se na Figura 18, através de tentativas de melhor traçado ambiental, os limites do Parque Estadual do Jalapão e da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins, em algumas extensões dos seus perímetros, não seguem os limites dos divisores das bacias. Ao aplicar a metodologia pode-se verificar que passar por diversos cursos d'água, suas APP's e zonas tampões pode apresentar um custo ambiental maior que adentrar nas áreas protegidas, caracterizando um indicativo para demarcação de unidades de conservação, considerando as bacias como unidade ambiental.

Para obter sucesso no afastamento das rodovias em relação às unidades de conservação e ainda manter uma distância mínima, aplicaram-se pesos de máxima restrição, grau 10, ao Parque Estadual do Jalapão, e ainda impôs-se barreira absoluta à Estação Ecológica Serra Geral, resultando em pequena interferência no Parque Estadual e a maior parte do traçado desenvolveu-se na Área de Proteção Ambiental – APA do Jalapão, considerada de uso sustentável (Figura 19).

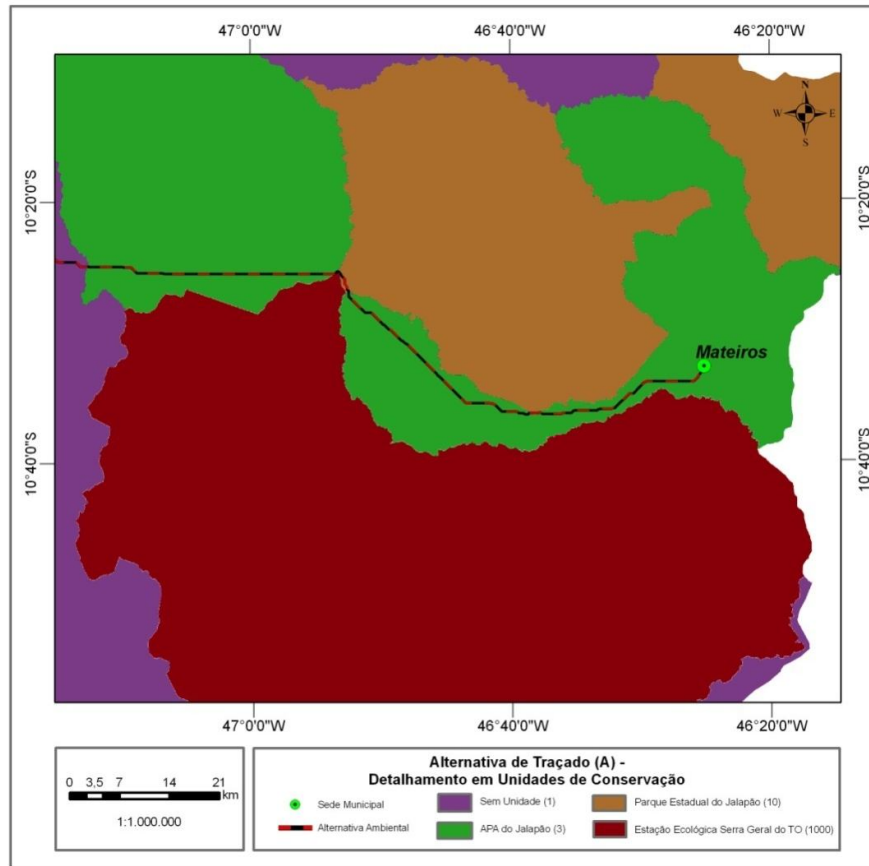


Figura 19. Relação da Alternativa A com as UC's para a rodovia TO-247, trecho Lagoa do Tocantins / Mateiros.

Fonte: Dados da pesquisa, 2010.

As 13 sub-bacias da área de estudo foram classificadas conforme a taxa de liberação de sedimentos, ilustrado na Figura 20, resultando em uma superfície de custo que inseriu os impactos ambientais destas unidades considerando os seus limites. Pode-se observar que o caminho de mínimo custo da alternativa A, partiu da sub-bacia do rio das Balsas (grau 8) e seguiu pelas sub-bacias de menor peso: sub-bacia do rio Soninho (7), sub-bacia do rio Vermelho (6), sub-bacia do rio Novo (4) e sub-bacia do rio Preto (3).

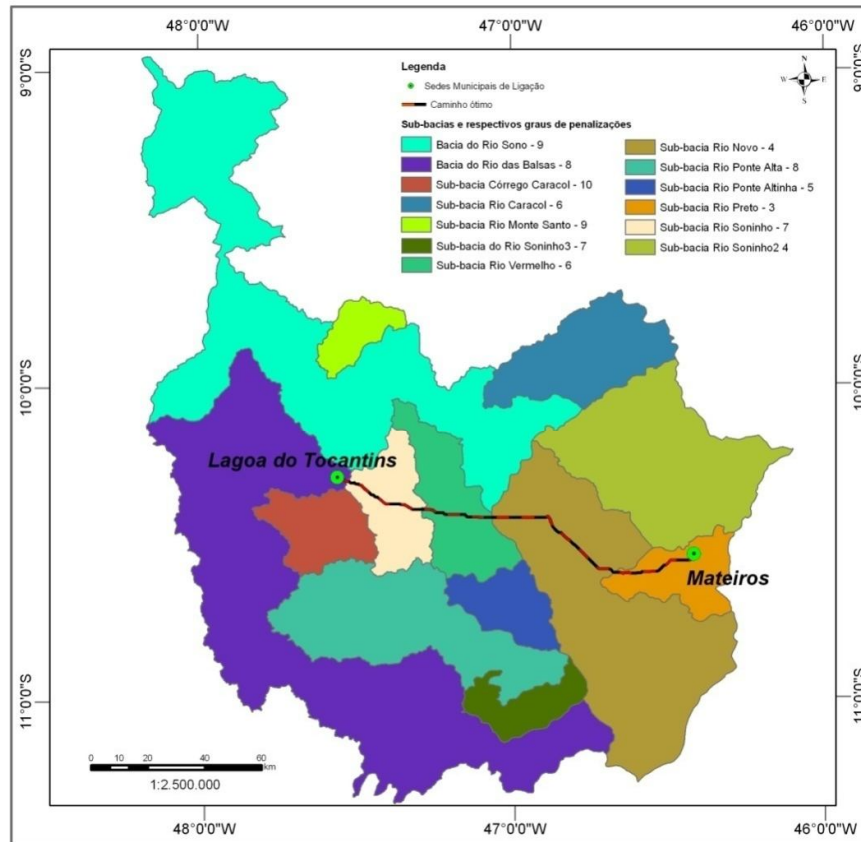


Figura 20. Relação da Alternativa A com as sub-bacias para a rodovia TO-247.
Fonte: Dados da pesquisa, 2010.

5.1.2 Avaliação da alternativa B – aspectos construtivos

Os aspectos construtivos foram representados pela alternativa de traçado B que incorporou as dificuldades construtivas de travessia de drenagens, o que pode ser traduzido pela escolha entre construção de bueiros tubulares, bueiros celulares ou galerias e pontes, assim, ficando expressa a dificuldade de travessia sobre drenagens iniciais ou em hierarquia maior. Considerando que o arquivo *raster* das drenagens foi elaborado sobre *pixels* de 91 X 91 m, a passagem sobre valores mais altos de restrição nas drenagens tem menor significado na somatória final em relação à menor distância, assim verifica-se a definição do traçado com o delineamento de uma reta.

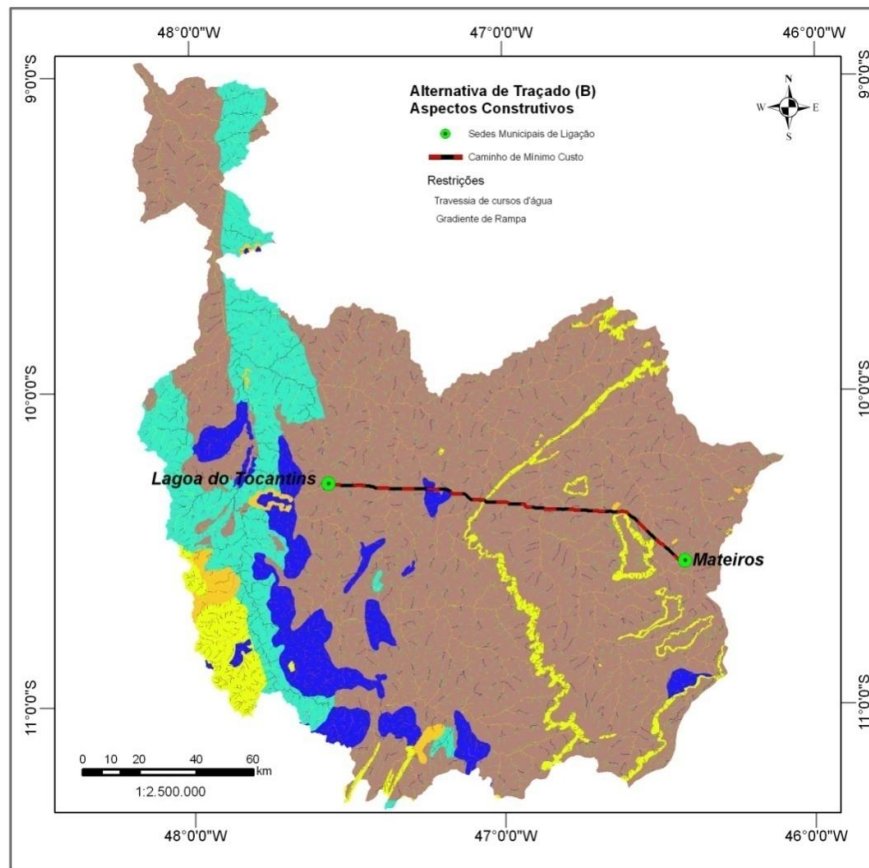


Figura 21. Mapa da Alternativa B – aspecto construtivo, para a rodovia TO-247, trecho Lagoa do Tocantins / Mateiros.
 Fonte: Dados da pesquisa, 2010.

O atrito do aspecto construtivo referente ao gradiente de rampa, foi ressaltado no trecho da rodovia TO-247 em que resultou em mudança de direção nas proximidades da Serra do Espírito Santo, quando há ocorrência de declividade maior que 45° , atribuída restrição excessiva (grau 10), demonstrado em detalhe na Figura 22.

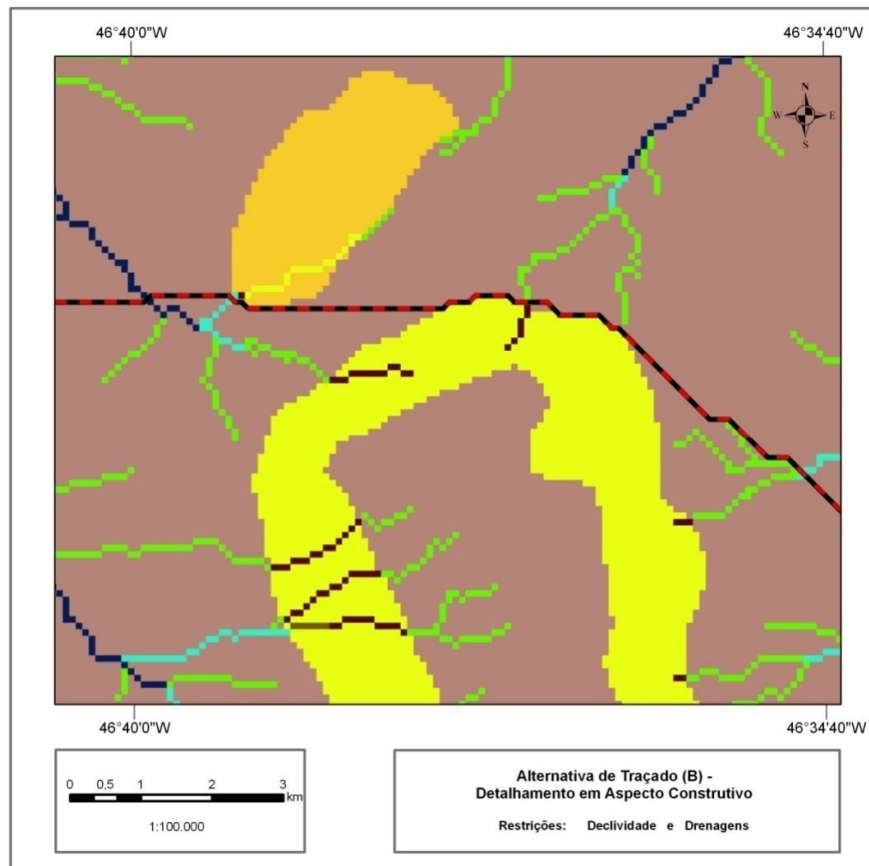


Figura 22. Detalhamento da alternativa B para a rodovia TO-247, trecho Lagoa do Tocantins / Mateiros. Fonte: Dados da pesquisa, 2010.

5.1.3 Avaliação da alternativa C – aspectos socioeconômicos

A alternativa C resultante da aplicação do caminho de mínimo custo na ligação das sedes municipais e a melhoria dos acessos aos principais pontos turísticos, está representada na Figura 23.

A resultante do caminho mínimo adentra os buffers efetuados de acordo com a classificação de distância proposta buscando levar o benefício do projeto de pavimentação asfáltica da TO-247 o mais próximo possível dos pontos turísticos.

Porém, conseguiu evitar os impactos diretos do empreendimento sobre a faixa de até 1km, permitindo este afastamento através do buffer de distância em que foi atribuído valor 1000.

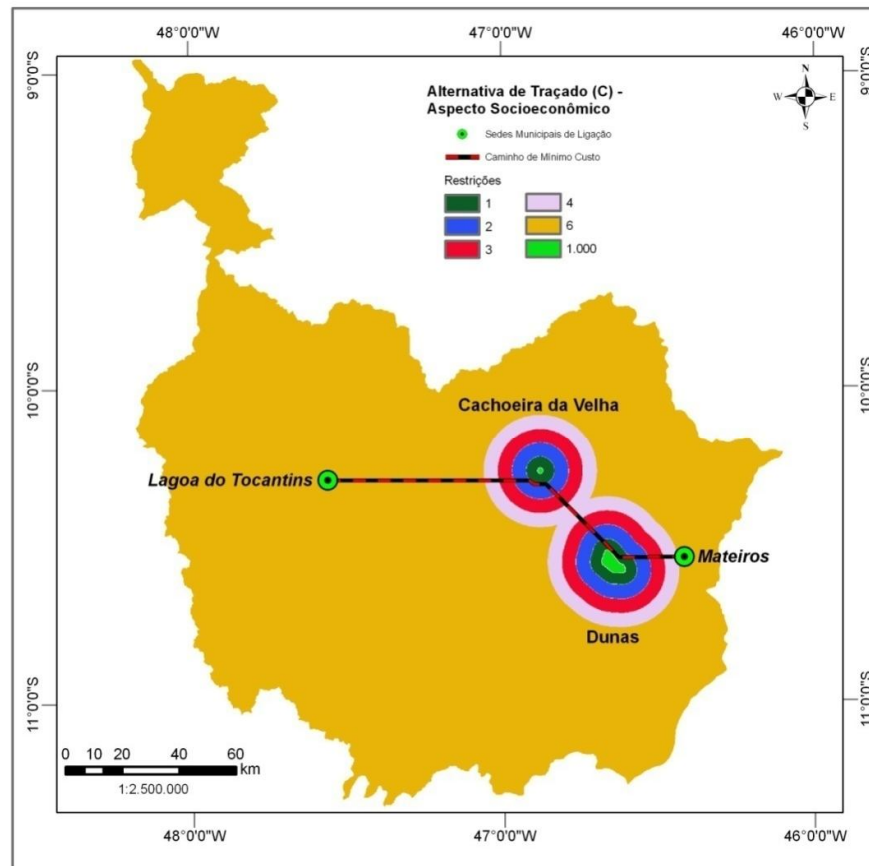


Figura 23. Mapa da Alternativa C - aspecto socioeconômico para a rodovia TO-247, trecho Lagoa do Tocantins / Mateiros.

Fonte: Dados da pesquisa, 2010.

5.1.4 Avaliação da otimização final do traçado - Alternativa D

O procedimento de ponderação dos pesos para obtenção do traçado final foi proposto visando a padronização dos fatores de decisão. No caso, foram atribuídos pesos iguais a todos os aspectos, porém, a discussão da importância relativa de cada atrito em relação ao outro pode exigir a participação de técnicos e decisores com variados níveis de conhecimento.

A ponderação aplicada foi a multiplicação dos aspectos ambientais por 1 somado à multiplicação dos aspectos construtivos por 2, somado ainda a multiplicação do aspecto socioeconômico por 4, terminando por dividir o total da operação por 7, que são o número de temas de atrito.

A alternativa de traçado A que integrou os aspectos ambientais apresentou uma extensão de 144,43 km, sendo o maior valor entre os traçados estudados. Já no

caso dos aspectos construtivos, a alternativa B, totalizou 137,10 km. Considerando somente o aspecto socioeconômico, a alternativa de traçado C como caminho mínimo, resultou em 136,63 km, a menor extensão total.

A alternativa A, dos aspectos ambientais, resultou em uma extensão maior, considerando a necessidade de buscar os pixels de menor valor, proporcionando o afastamento dos cursos d'água, seguindo pelos divisores das sub-bacias. Contribuiu para o aumento da extensão a cobertura e uso do solo, onde predominou a ocorrência de vegetação nativa e a busca por uma passagem de menor restrição entre as unidades de conservação que formaram grandes áreas homogêneas no custo de passagem.

Quanto ao custo por quilômetro para implantação de rodovias, pode aparentar que a melhor alternativa é somente a de aspectos socioeconômicos, ou seja a alternativa C, de trajeto mais curto. Porém, em uma avaliação de custo efetivo o resultado final pode variar em função da necessidade de desmatamento, compensação ambiental em unidades de conservação, além dos custos relacionados a construção de obras de arte e execução de cortes e aterros.

A resultante final dos três aspectos estudados caracterizou-se por uma extensão total de 143,19 km, sendo observado que esta alternativa adentrou o Parque Estadual do Jalapão em uma extensão total pouco maior que na alternativa ambiental, porém menor no aspecto construtivo e socioeconômico. Este fator pode ser amenizado com a proposição de medidas mitigadoras dos impactos, a exemplo de implantação de estrada parque, construção de passagens de fauna e proposição de projetos de apoio ao desenvolvimento sustentável na região.

Ainda, foram incorporados ganhos no traçado otimizado final, com afastamento da Serra do Espírito Santo, pela face sul, uma vez que a proposição da alternativa dos aspectos construtivos contornava a mesma Serra pela face norte, aumentando a extensão de travessia do Parque.

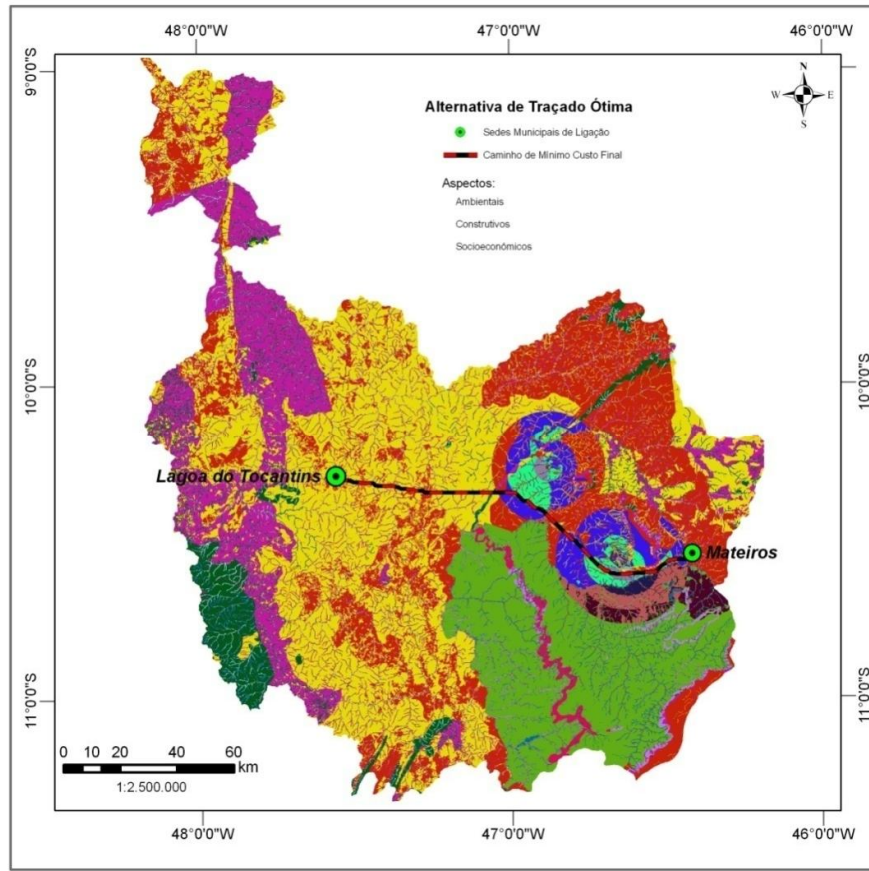


Figura 24. Resultado da otimização de rota – alternativa de traçado D para a rodovia TO-247, trecho Lagoa do Tocantins / Mateiros.
 Fonte: Dados da pesquisa, 2010.

Quanto ao aspecto socioeconômico, foi verificada uma aproximação maior das Dunas, localizando o traçado na faixa de distância entre 5 e 10 km, sendo que na Cachoeira da Velha tocou somente no buffer da distância maior que 15 km e menor que 20 km. Assim, o resultado foi considerado satisfatório para a conjunção dos aspectos, uma vez que a aproximação proposta pelo traçado final D aproximou a rodovia dos pontos turísticos adentrando o mínimo possível no Parque Estadual, além de evitar totalmente a Estação Ecológica, com passagem vedada a projetos de pavimentação de vias.

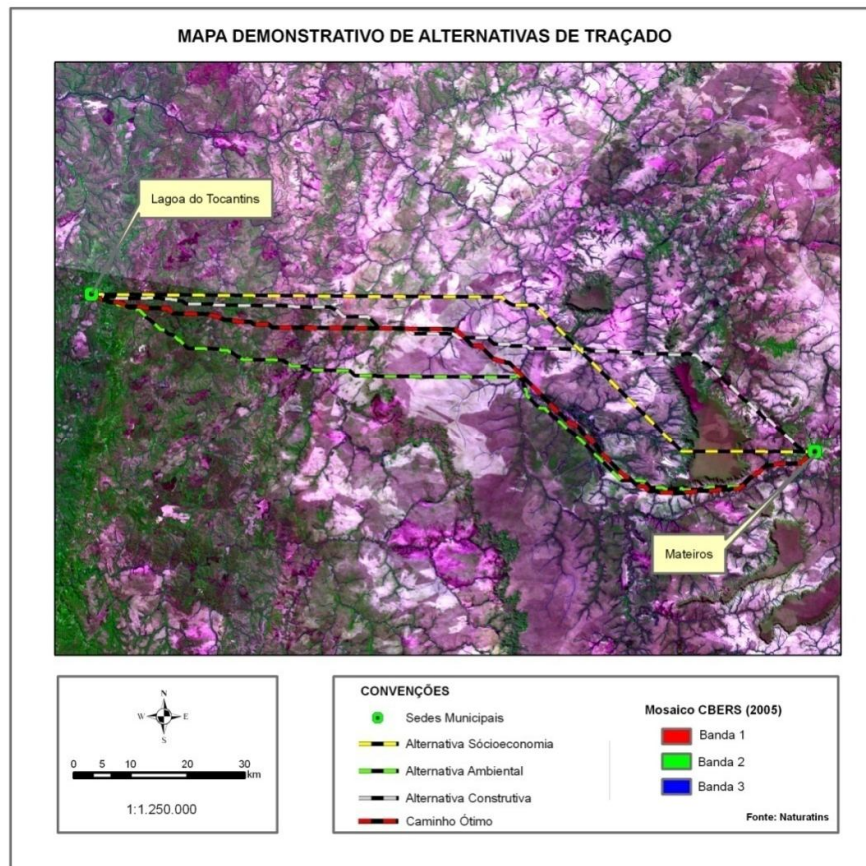


Figura 25. Mapa da otimização de rota – alternativa de traçado D para a rodovia TO-247 sobre imagem CBERS, trecho Lagoa do Tocantins / Mateiros.
Fonte: Dados da pesquisa, 2010.

5.1.5 Inserção das bacias hidrográficas na avaliação de impactos ambientais de rodovias

O produto final obtido da aplicação da metodologia, sob o aspecto proposto nesta pesquisa, que é a contribuição obtida à tomada de decisão estendendo os limites da área de influência das rodovias para os limites das bacias hidrográficas, pode ser verificado na Figura 28.

A alternativa A, dos aspectos ambientais foi mais precisa na incorporação deste fator, visto que a otimização do traçado final, resultou em desvio de pequena extensão para a bacia do rio Sono, classificada no estudo com nível de atrito muito alto, grau 9. Porém a maior extensão da rodovia desenvolveu-se sobre a sub-bacia do rio Novo, com média restrição e grau de penalização 4.

A integração de todos os aspectos é uma difícil tarefa para os tomadores de decisão, no caso do estudo, a necessidade de aproximação do ponto turístico Cachoeira da Velha provocou o desvio para uma bacia de maior atrito, porém não comprometendo o resultado final. Há que se considerar que a classificação das sub-bacias propostas pela SEPLAN (TOCANTINS, 2008) introduz duas sub-bacias de grandes dimensões na pesquisa, uma delas a sub-bacia do rio Sono, caso em questão, com 6.984 km² de área. Através de uma nova reclassificação, subdividindo esta sub-bacia de grande extensão e área, poderiam ser obtidos outros valores, sendo necessários novos limites, em um exemplo simples a área de influência atingiria somente a sub-bacia do ribeirão Peixinho, caso para um outro estudo.

Ressalta-se que um dos pontos a serem interligados (Lagoa do Tocantins) está localizado sobre a bacia do rio das Balsas a segunda maior área, também com nível alto de restrição, grau 8, porém como no algoritmo é a meta a ser alcançada, não pode ser contornada.

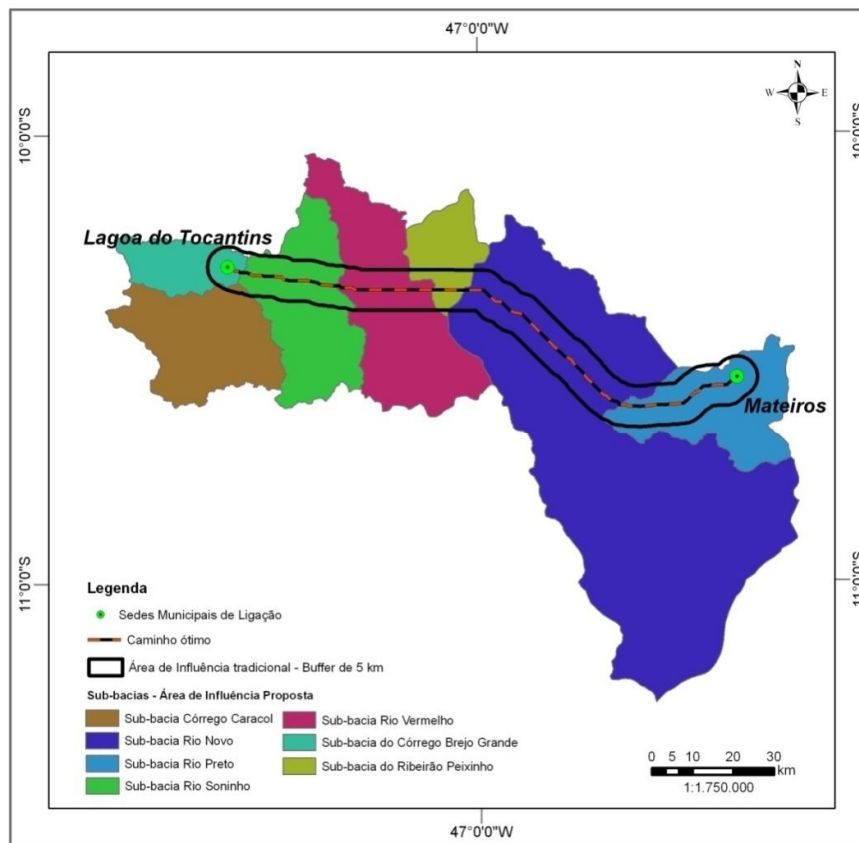


Figura 26. Mapa da área de influência direta delimitada por buffer de 5 km, comparada a área de influência delimitada pelas sub-bacias para a rodovia TO-247, trecho Lagoa do Tocantins / Mateiros. Fonte: Dados da pesquisa, 2010.

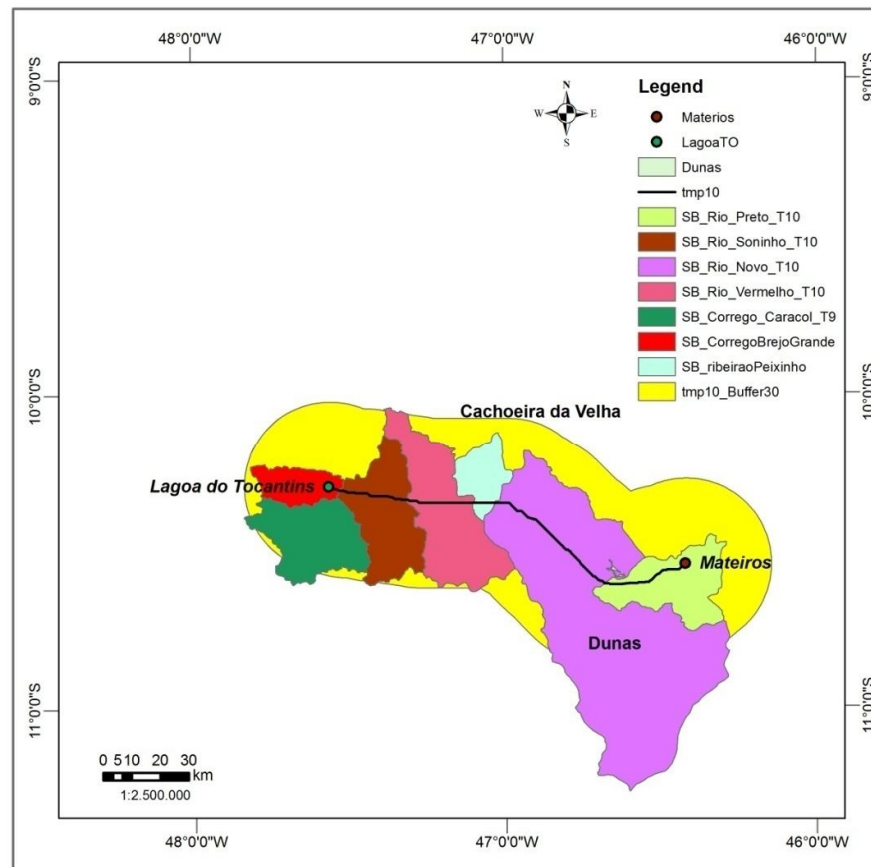


Figura 27. Mapa da área de influência indireta representada pelas sub-bacias e buffer de 30 Km, para a alternativa otimizada da rodovia TO-247, trecho Lagoa do Tocantins / Mateiros.

A área de influência indireta, delimitada através de uma área afastada até 30 Km do eixo estradal, na maioria dos estudos ambientais está representada na Figura 27 comparada a área de influência delimitada pelas sub-bacias estudadas.

Pode-se observar que o trabalho definiu a área de influência com propriedades técnicas mais consistentes, considerando a bacia como um limite geográfico que reflete os possíveis impactos ambientais indiretos da implantação das rodovias.

6 CONCLUSÕES

Esta pesquisa proporcionou uma análise sobre os impactos ambientais advindos de rodovias, sob a ótica catalisadora da ocupação de uma região, principalmente das áreas lindeiras às estradas pavimentadas, devido à redução dos custos do transporte e melhorias de acesso, impondo novos limites à área de influência que um traçado condiciona.

A principal motivação e novidade do trabalho é a irradiação da área de influência de projetos rodoviários para os limites das bacias hidrográficas impactadas.

Com a classificação da capacidade de aporte de sedimentos das sub-bacias da área do estudo, a otimização de rotas possíveis considerou a sensibilidade das bacias hidrográficas, como um mecanismo de transporte de problemas de montante a jusante.

Em um primeiro momento a decisão de uma política pública, parte de fatores socioeconômicos, quando uma rodovia integra o planejamento para o desenvolvimento regional, através da ligação de pontos de importância, seja de comunidades de centros urbanos, rodovia troncal ou pontos de interesse econômico como o caso da pesquisa, interesse turístico.

Porém ao ser requisitado a elaboração do projeto de engenharia para a implantação e pavimentação de rodovias, onde são apresentadas as alternativas de traçados, utiliza-se na maioria estudos hidrológicos que seguem as informações topográficas existentes nas cartas planialtimétricas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, em escala inadequada 1:1.000.000, sendo apresentado projeto de traçado rodoviário considerando apenas as dificuldades construtivas, deixando de observar os aspectos ambientais, Este trabalho considerou as dificuldades construtivas propondo o uso de dados planialtimétricos obtidos por técnicas de sensoriamento remoto, das imagens SRTM que se mostraram como alternativa para a obtenção de informações do relevo e para a otimização de rotas de rodovias, e integrou os aspectos ambientais na definição dos traçados rodoviários.

Concluiu-se pelos seguintes aspectos:

- A unidade geográfica bacia hidrográfica, avaliada através do uso da equação universal de perdas de solo e da taxa de liberação de

sedimentos foi considerada como limite mais adequado da área de influência do projeto rodoviário da TO-247, contribuindo para a ampliação do conhecimento sobre os impactos ambientais destes empreendimentos, colaborando para a tomada de decisão na fase de planejamento.

- A metodologia aplicada para a definição de alternativa de traçado para a rodovia TO-247, no trecho estudado pode definir um traçado condicionado aos aspectos ambientais juntamente com os construtivos e socioeconômicos.
- O uso de ferramentas do SIG, com o algoritmo de mínimo custo proporcionou a definição de alternativas locais com a inserção de propriedades técnicas, podendo ser útil na avaliação ambiental estratégica de projetos rodoviários onde prevalece a falta de conhecimento prévio da capacidade de suporte dos ecossistemas a nível de apropriação dos seus recursos, como no Jalapão – TO .

Destacou-se nesta pesquisa, a incorporação dos aspectos ambientais relevantes, muitas vezes cerceadas a um segundo plano na fase de elaboração do projeto, para serem exigidas somente na fase de licenciamento ambiental que precede a implantação da obra, com detalhamento técnico cada vez maior.

Para este estudo, os impactos no meio físico são considerados os mais relevantes e estão contemplados através da classificação das bacias quanto a produção e transferência dos sedimentos. A aplicação da equação universal de perdas de solo – USLE obtida através da base de dados disponível gratuitamente em site na *internet* e o uso do sensoriamento remoto mostrou-se como ferramentas de suporte na qualificação das bacias, quando foi associado a taxa de transferência de sedimentos.

O estudo aplicou uma modelagem bastante útil para estimar a distribuição espacial de sedimentos para bacias de qualquer tamanho, estimando o SDR em uma base matricial, interagindo vários fatores como uso e cobertura do solo, declividade, comprimento de rampa entre outros. O emprego dos métodos de obtenção de produção de sedimentos e taxa de liberação dos sedimentos resultou em grande variabilidade de valores, não devendo ser tomado para fornecer boas

estimativas absolutas, porém considerados indicadores relativos quanto aos sedimentos produzidos nas sub-bacias e carreados para os cursos d'água.

Ainda foram relacionados no atrito ambiental os temas de Unidades de Conservação e áreas de importância ecológica, aplicação de restrição à zona tampão de 100m, restrição máxima à travessia de APP de nascentes e variados níveis de restrição a passagem sobre áreas com cobertura e uso do solo com vegetação nativa, áreas urbanas e uso agropecuário.

Todos os atritos integrados na programação dinâmica dos algoritmos de mínimo custo, em SIG, proporcionou a sistematização de informações, integrando os aspectos ambientais, construtivos e socioeconômicos, traduzindo-se em uma importante ferramenta para uso em avaliações ambientais. Podem ser aplicados outros critérios, conforme as características regionais, ou os assuntos apresentados como prioritários, possibilitando a incorporação de novos temas e o enriquecimento dos debates entre as áreas especificadas.

Pode-se concluir que o modelo proposto, em obras viárias classificadas como indutoras de desenvolvimento, vem contribuir para os tomadores de decisão em fase preliminar, integrando propriedades técnicas consistentes a proposta de uma alternativa de traçado de uma rodovia.

Espera-se que esta metodologia possa colaborar, também, para a apropriação e uso de informações disponíveis de fácil acesso e o enriquecimento do conhecimento dos fatores de decisão, principalmente com a inclusão dos aspectos ambientais relevantes a serem considerados na implantação e pavimentação de rodovias.

Ressalta-se que a adoção deste modelo não elimina os trabalhos de campo, mas sim complementam as pesquisas, no que se refere à avaliação ambiental estratégica.

7 RECOMENDAÇÕES

Seguem as recomendações resultantes do trabalho:

- Considerar os limites das bacias hidrográficas nos estudos ambientais, como limites da área de influência de empreendimentos rodoviários;
- Promover a institucionalização da Avaliação Ambiental Estratégica de modo simplificado e ágil, como processo para sustentar decisões sobre a implantação de projetos rodoviários indutores de desenvolvimento;
- Incluir nas normas técnicas ou instruções de serviços de projetos rodoviários a apresentação de alternativas de traçado considerando os aspectos ambientais;
- Fortalecer o banco de dados nos setores de infraestrutura rodoviária governamentais, com vistas ao uso da ferramenta do geoprocessamento, buscando a aplicação das informações existentes na fase de planejamento de obras de pavimentação asfáltica.

Em trabalhos futuros podem ser incorporados os impactos sobre a fauna, sendo necessárias informações sobre séries de monitoramentos, para nortear a proposta, ou abordagem quanto à importância dos fragmentos florestais como habitat para a fauna e a conectividade entre eles. Neste último caso, poderiam ser utilizados modelos matemáticos para uso em SIG (CIOCHETI, 2006). Outros aspectos como qualidade do ar e produção de ruídos também podem ser considerados em rodovias que atravessam áreas de concentração urbana.

O aproveitamento de estradas existentes no desenvolvimento do projeto de pavimentação não foi considerado, pois não se aplica ao caso do estudo devido a escassez de acessos na região, porém a adequação do traçado geométrico a estradas existentes é comum neste tipo de projeto, evitando abertura de novas áreas, ou efetuando o aproveitamento de obras de arte construídas anteriormente.

A distância das jazidas de cascalho, areia e brita são fatores que poderiam ser estudados, pois oneram os custos das obras, conforme a distância e o quantitativo de material, porém não foi trabalhado nesta escala de trabalho, devido à falta de informações sobre o tema nesta fase do projeto rodoviário.

Quanto ao aspecto socioeconômico a vontade de aproximação de localidades como povoados, vilas ou outras sedes municipais – entre as sedes municipais que são pontos obrigatórios a serem interligados, proporcionando o

benefício da aproximação da rodovia pavimentada, sem porém ser obrigatória a passagem pelo ponto e até situações em que já tenham sido construídas obras de arte (pontes) que devam ser aproveitadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. **Agência Nacional de Águas**. Apresenta legislações, informações hídricas e notícias. <<http://www.ana.gov.br>> Acesso em: 21/09/2009.

ANA. **Agência Nacional de Águas**. Apresenta sistema de informações hidrológicas. <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 14/12/2009.

ARAÚJO, M.A.R. **Estudo de um modelo de planejamento ambiental referente ao setor de transportes**: um estudo de caso da rodovia MA 006. 2000. 306 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia: Planejamento Energético e Ambiental) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BAPTISTA, G. M. M. **Diagnóstico ambiental da perda laminar de solos por meio de geoprocessamento**.1997. 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de Brasília.

BELLIA, V.; BIDONE, E. D. **Rodovias, recursos naturais e meio ambiente**. Niterói: Eduff. Rio de Janeiro: DNER, 1993. 288 p.

BELLIA, V.; PARENTE, A.; DIAS, R. R.; MENEZES, A. A.; DELORENCI, C. C. F. **Introdução à gestão ambiental de estradas**. Rio de Janeiro: IME/Fundação Ricardo Franco/DNIT, 2005. 160p.

BENI, M.C. **Análise estrutural do turismo**. 2.ed. São Paulo:SENAC, 1998. 427 p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Livroceres, 1985. 392 p.

BRASIL, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. **Manual de projeto geométrico de rodovias rurais**. Rio de Janeiro. 1999. 195p.

BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Corpo normativo ambiental para empreendimentos rodoviários**. Rio de Janeiro, 1996. 91p.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Avaliação de Impacto Ambiental: agentes sociais, procedimentos e ferramentas**. Brasília, 1995. 132 p.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Resolução n. 303** de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites para Áreas de Preservação Permanente. Brasília, 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/sbf/dap/doc>> Acesso em: 22/01/2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA 001**, de 26 de janeiro de 1986. Estabelece as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>> Acesso em: 02/10/2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA 237**, de 19 de setembro de 1997. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília-DF, nº 247. 22 de dezembro de 1997. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/pot/conama/res/res23797.html>> Acesso em: 15/10/2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Lei Nº 9.605**, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília-DF, de 13 de fevereiro de 1998. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/pot/gab/asin/lei.html>> Acesso em: 22/11/2008.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **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. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília-DF, 31 ago. 1981. Brasília, 1981. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>> Acesso em: 02/10/2008.

BRASIL, Presidência da República. **Lei nº 9.985**, 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 – SNUC, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/sbf/dap/doc/snuc.pdf>> Acesso em: 20/11/2008.

BRASIL. **Lei Nº 9.433**, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, Cria o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do artigo 21 da CF, e altera o artigo 1 da Lei 8.001 de 13.03.1990 que modificou a Lei 7.990, de 28.12.1989. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília-DF, 09. Jan.1997. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>> Acesso em: 20/11/2008.

CARNEIRO, B.M. **Implantação de vias e manejo de áreas protegidas na região do Jalapão: a rodovia TO-110 e o seu entorno.** 2008. 176 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Meio Ambiente) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas.

CATELLANI, C.S.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T. **Geoprocessamento na determinação da proximidade de estradas vicinais em relação à rede de drenagem em uma bacia no município de Taubaté – SP.** In: Simpósio de Sensoriamento Remoto, 12 (SBSR). 2005, Goiânia. Anais...

COLLISCHONN, W. **Caminhos de mínimo custo.** Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 2008. Notas de aula da disciplina HIP 23 – Geoprocessamento em Recursos Hídricos.

COLLISCHONN, W.; PILAR, J.V. **Caminhos de mínimo custo no projeto de canais de irrigação.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. 1999, Pelotas. Anais...

COSTA, C. A. G.; COSTA, A.C.; TEIXEIRA, A. S.; ALVES, N. N. L.; ANDRADE, E. M.; SOUSA, B. F. S.; LEÃO, A.O. **Comparação do uso do SRTM para delimitação e caracterização fisiográfica de uma micro-bacia hidrográfica.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 13. 2007, Florianópolis. Anais...

COWEN, D. J. **GIS versus CAD versus DBMS: What are the differences?** Photogrametric Engineering and Remot Sensing. 1988. 154p.

CIRILO, J. A.(Org.); COELHO, M. M. L. P. (Org.); BAPTISTA, M. B. (Org.); MASCARENHAS, F. C. B. (Org.); CANALI, V.G.; CABRAL, J. J. da S. P.; AZEVEDO, J. R. G de; MONTENEGRO, S. F. G. L. Hidráulica aplicada. In: **Escoamento uniforme.** 2 ed. rev. ampl. Porto Alegre: ABRH, 2003. p.260. (ABRH – Coleção ABRH 8).

DE LUCA, S. **Impactos da irrigação.** Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 2008. Notas de aula da disciplina HIP 77 – Avaliação de impactos ambientais em recursos hídricos.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos.** 1v. 412p. Brasília, 2003.

FARINASSO, M.; CARVALHO JR.,O. A. de; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; RAMOS, V.M. **Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes**

áreas por meio da Eups utilizando novas metodologias em sig para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba-PI-MA. Revista Brasileira de Geomorfologia, ano 7, n. 2, p. 73-85, 2006.

FERRO, V.; MINACAPILLI, M. Sediment delivery processes at basin scale. **Hydrological Sciences Journal**. 40(6).1995. p. 703-717.

FERRO, V. Further remarks on a distributed approach to sediment delivery. **Hydrological Sciences Journal**. 42. 1997. p. 633-647.

FERRO, V.; PORTO, P. Sediment delivery distributed (SEDD) model. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 5, n. 4. 2000. p. 411-422.

FLECKENSTEIN, J. **Using GIA to derive velocity fields and travel times to route excess rainfall in small-scale watershed.** 1998. Disponível em <http://www.ucdavis.edu>. Acesso em 09/03/2010.

FOGLIATI, M.C.; FILLIPPO, S.; GOUDARD B. **Avaliação de impactos ambientais: aplicação ao sistema de transporte.** Rio de Janeiro: Interciência, 2004. 249p.

FUJIHARA, A.K. **Predição de erosão e capacidade do uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de geoprocessamento.** 2002. 136 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Piracicaba.

GALLARDO, A. L.C.F. **Análise das práticas de gestão ambiental da construção da pista descendente da rodovia dos Imigrantes.** 2004. 263 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

CIOCHETI, G. **Uso de habitat e padrão de atividade de médios e grandes mamíferos e nicho trófico de Lobo-Guará (*Chrysocyon brachyurus*), Onça-Parda (*Puma concolor*) e Jaguaritica (*Leopardus pardalis*) numa paisagem agroflorestral, no estado de São Paulo.** 2007. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ecossistemas Aquáticos e Terrestres) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades** . Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em 08/12/2010.

ISA; ICV; FORMAD; UNEMAT; IPAM; WWF; CI; TNC. **Relatório do encontro BR-163 sustentável: desafios e sustentabilidade sócioambiental ao longo do eixo da Cuiabá-Santarém.** Sinop. 2005.

JAIN, M. K.; KOTHYARI, U. C., Estimating of soil erosion and sediment yield using GIS. **Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques**, Índia. 5 oct. 2000. Disponível em: <www.ias.ac.in/currsci/25jan2010/213.pdf>. Acesso em: 8/3/2010.

LANNA, A. E. L. **Gerenciamento de bacia hidrográfica:** aspectos conceituais e metodológicos. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1995. 171 p.

LISBOA, M.V. **Contribuição para tomada de decisão na classificação e seleção de alternativas de traçados de rodovias em trechos urbanizados.** 2002a. 206 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

LISBOA, M. V.; WAISMAN, J. Análise Multicritério aplicada ao estudo de alternativas de traçado de rodovias: uma abordagem sócio-ambiental. **Boletim Técnico da FATEC-SP**, bt/22, p. 28 a 33, julho 2007.

LISBOA, M. V.; **Avaliação ambiental estratégica de rodovias com a utilização de métodos multicritérios no auxílio a tomada de decisão.** [200-b]. Disponível em <<http://www.iea.usp.br>>. Acesso em: 09/04/20010.

MENDES, C.A. **Métodos e procedimentos para construção de ferramenta de simulação de cargas de poluentes em bacias hidrográficas, envolvendo a integração de SIG+Matriz de Cargas+Modelos de Simulação.** Porto Alegre: Programa Nacional do Meio Ambiente II, 110 p. 2005.

MENDES, C.A. B.;BECKER, M.; FREITAS, G.K. de; LANGE, B. **Técnicas de regressão logística aplicada à análise ambiental.** Revista da Produção on Line, Florianópolis, vol. X. [200-].

MENDES, C.A.B; CIRILO, J.A. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos:** princípios, integração e aplicação. Porto Alegre: ABRH, 2001.536 p.

MENDES, L. R. **Aplicação de técnicas de geoprocessamento para análise geomorfológica do Parque Estadual do Jalapão (TO) e entorno.** 2008. 78p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de Brasília, Brasília.

MIRANDA, C. T.; BASTOS, C. A. B.; TASSI, R. **Avaliação do potencial erosivo e da geração de sedimentos em microbacias contribuintes a estruturas de drenagem rodoviária**. VII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. Disponível em <<http://www.envirh2o.com/dmdocuments/artigos/DU40.pdf>>. Acesso em: 20/02/2010.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br> . Acesso em: 8/11/2009.

MUTUA, B. M.; KLIK, A. **Estimating spatial sediment delivery ratio on a large rural catchment**. Journal of Spatial Hydrology. vol. 6, nº 1 Spring. p 64 – 80. 2006.

OMENA, M. L. R. de A.; SANTOS, E. B. dos. **Análise da efetividade da Avaliação de Impactos Ambientais – AIA – da Rodovia SE 100/Sul-Sergipe**. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional. v. 4, nº 1, p 221-237. 2008.

PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W. **Derivação de rede de drenagem a partir de dados do SRTM**. Rev. Geográfica Acadêmica v. 2 n. 2. p 84 – 95.2008.

PÉREZ, L. P. **Dinâmica do desmatamento e suas relações com as vias de acesso em duas cidades Amazônicas: Rio Branco e Cruzeiro do Sul, no período de 1985 a 2003**. 2007.76p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

PILAR, J. V. **Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão para a otimização de traçados de obras de engenharia civil: O caso do sistema de defesa contra inundações da cidade de Resistência, Argentina**. 2003. 128p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

SÁNCHEZ, L.E. **Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008a. 495 p.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação ambiental estratégica e sua aplicação no Brasil**. Instituto de Pesquisas Avançadas da Universidade de São Paulo. 2008b. Texto para debate “Rumos da avaliação ambiental estratégica no Brasil”. Disponível em <<http://www.iea.usp.br>>. Acesso em: 19/04/2010.

SILVA, G. da. **Modelagem e implementação de uma ferramenta inteligente e de código aberto para inserção automática de inferência fuzzy em sig convencionais**. 2006. 152p. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática e

Computacional). Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte;

SIMÕES, L.B. **Integração entre um modelo de simulação hidrológica e sistema de informação geográfica na delimitação de zonas tampão ripárias**. 2001. 171p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu.

SOUZA, C.F.; DORNELLES, A. M.; ACIOLI, L. A.; MERTEN, G. **Comparação dentre estimativas de produção de sedimentos na bacia do rio Potiribu**. VII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos [s.d.].

TAKAHASHI, M. T.; YAMAKAMI, A. **Um estudo do problema de caminho mínimo com estrutura do grafo fuzzy: algoritmos**. 2004. Universidade Estadual de Campinas. <<http://www.lti.pcs.usp.br/robotics/grva/publicacoes/outras/cba2004-cd-rom/cba2004/pdf/331.pdf>>. Acesso em: 20/03/2010.

TOCANTINS. Assembléia Legislativa do Tocantins. **Lei n. 1.560**, de 05 de abril de 2005. Dispõe sobre a criação do Sistema Estadual de Unidades de Conservação. Disponível em: <http://www.seplan.to.gov.br/site/dma/areas_protegidas/seuc.pdf> Acesso em: 15 de setembro de 2009.

TOCANTINS. **Atlas do Tocantins: suporte ao planejamento territorial**. Palmas, TO: Secretaria de Planejamento, 2008. 54p.

TOCANTINS: **Base de dados rodoviários do estado do Tocantins**. Dertins, 2009.

TOCANTINS. **O coração da natureza!: Guia para Profissionais de Turismo**. Palmas, TO: Agência de Desenvolvimento Turístico, 2006. 55p.

TOCANTINS. Secretaria da Infraestrutura. **Especificações gerais para elaboração de projetos rodoviários**. Palmas, 1994.

TOCANTINS. Secretaria de Planejamento. **Base de dados geográficos: Zoneamento ecológico econômico – ZEE**. Palmas, 2008. Disponível em: <http://www.seplan.to.go.br/seplan/br/index2.php?area=download&id_m=125> Acesso em: 20/09/2009.

TOCANTINS. Secretaria dos Transportes e Obras. **Manual operacional da gestão ambiental do setor rodoviário da SETO**. Palmas, TO, 1998. 79 p.

USUL, N. **A Pilot Project for Flood Analysis by Integration of Hydrologic-Hydraulic Models and Geographic Information Systems**, METU, Ankara, Turkey. 2002.

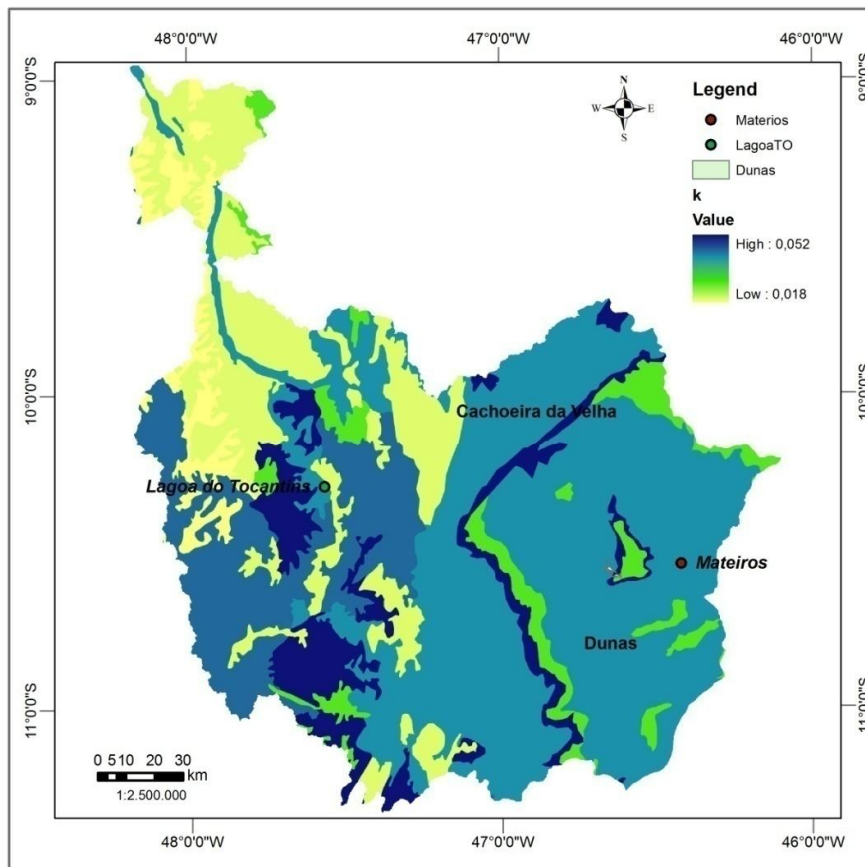
WEBER, E.; HASENACK, H.; NODARI, F.A.; REICHMANN, N.C. **Análise de alternativas de traçado de uma estrada utilizando rotinas de apoio à decisão em SIG**. Canoas [200-].

WEBER E.; HASENACK H. **Análise de alternativas de traçado de um gasoduto utilizando rotinas de apoio à decisão em SIG**. Fator GIS. 1998. Disponível em <http://www.fatorgis.com.br/artigos/gis/gasoduto/gasoduto.htm>. Acesso em 07/05/2008.

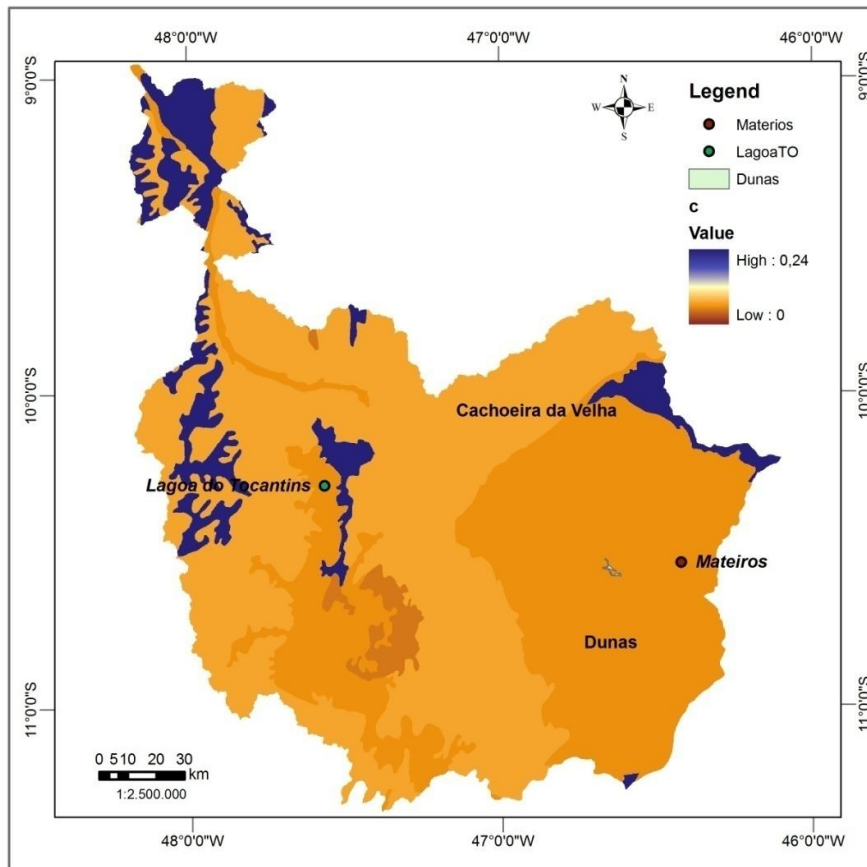
WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. Washington: USDA/ARS (Agricultural Handbook nº 573). 1978. 58p.

APÊNDICES

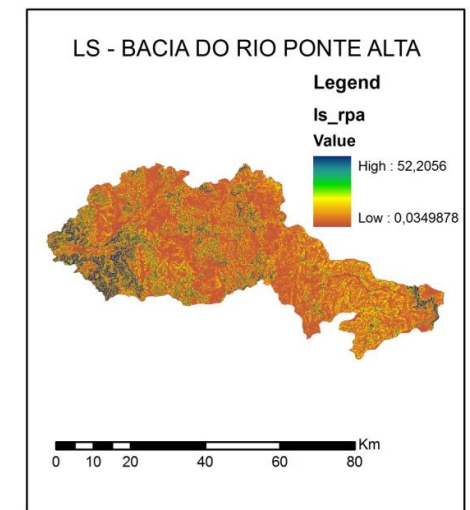
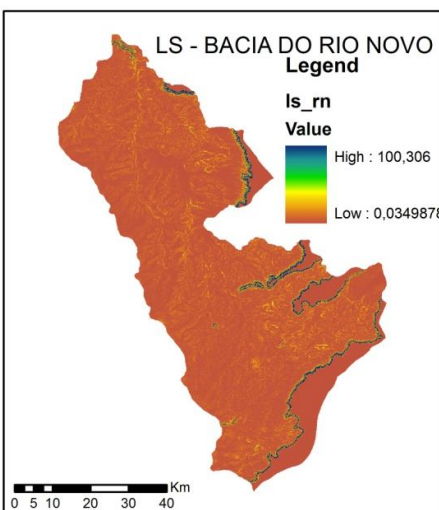
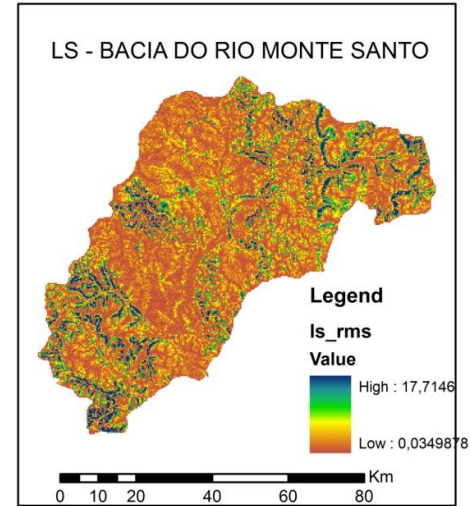
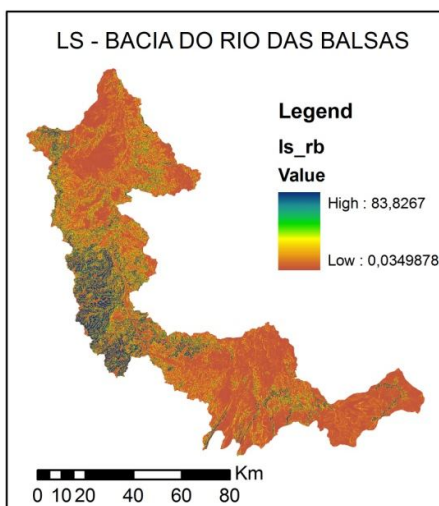
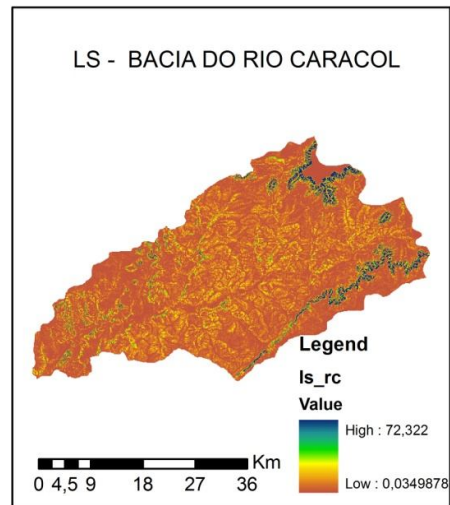
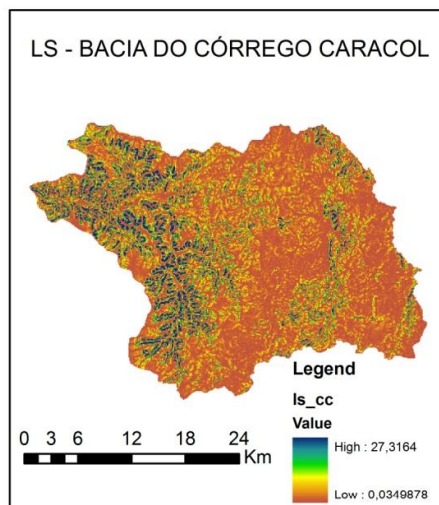
APÊNDICE A - MAPA DE ERODIBILIDADE DOS SOLOS (K) DA ÁREA DO ESTUDO PARA APLICAÇÃO NA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DE SOLOS.



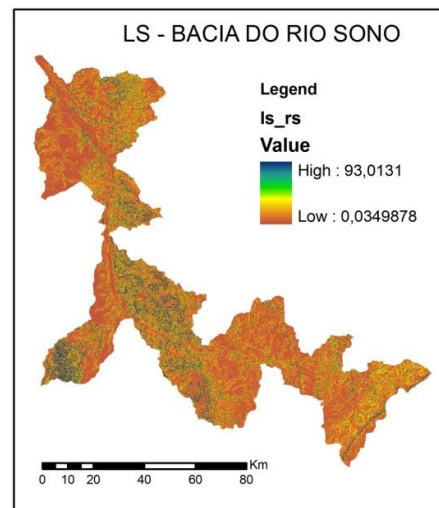
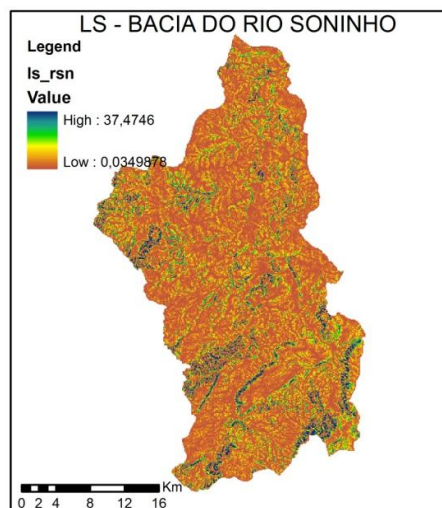
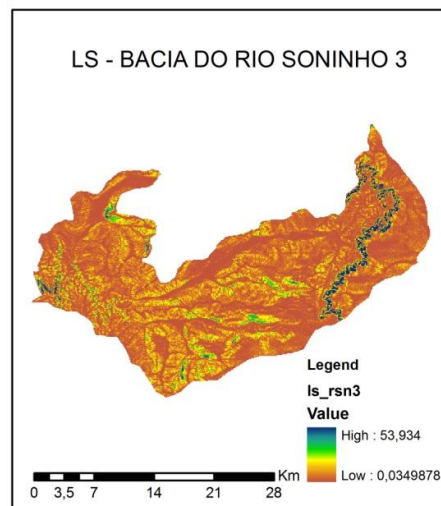
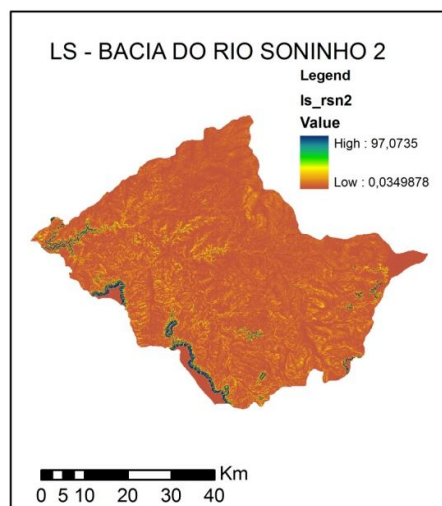
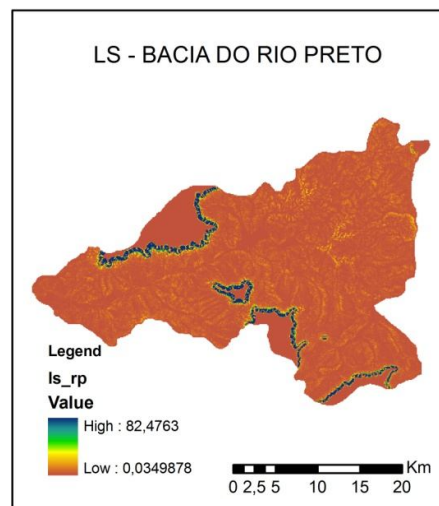
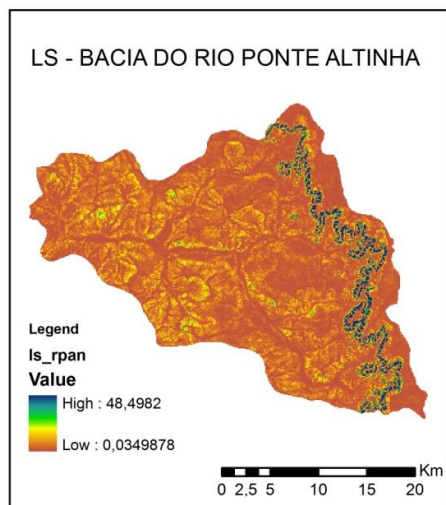
APÊNDICE B - MAPA DO FATOR DE USO E MANEJO DOS SOLOS (C) OBTIDO PARA A ÁREA DO ESTUDO, PARA APLICAÇÃO NA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DE SOLOS.



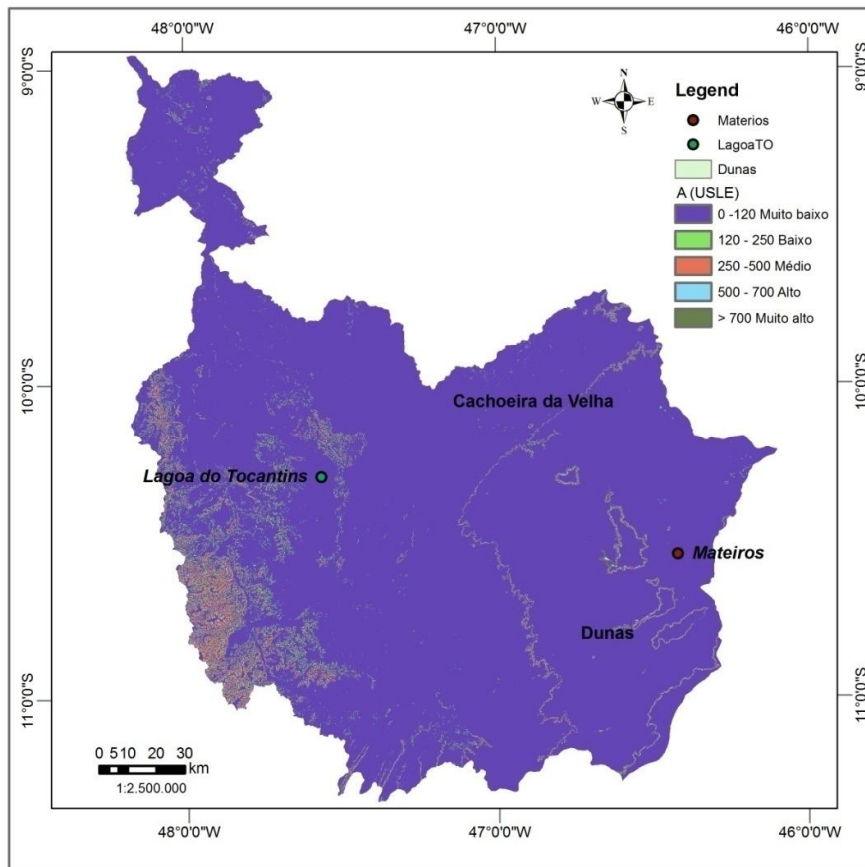
APÊNDICE C – MAPAS DO FATOR TOPOGRÁFICO – LS DAS BACIAS DA ÁREA DO ESTUDO – REGIÃO JALAPÃO PARA APLICAÇÃO NA USLE.



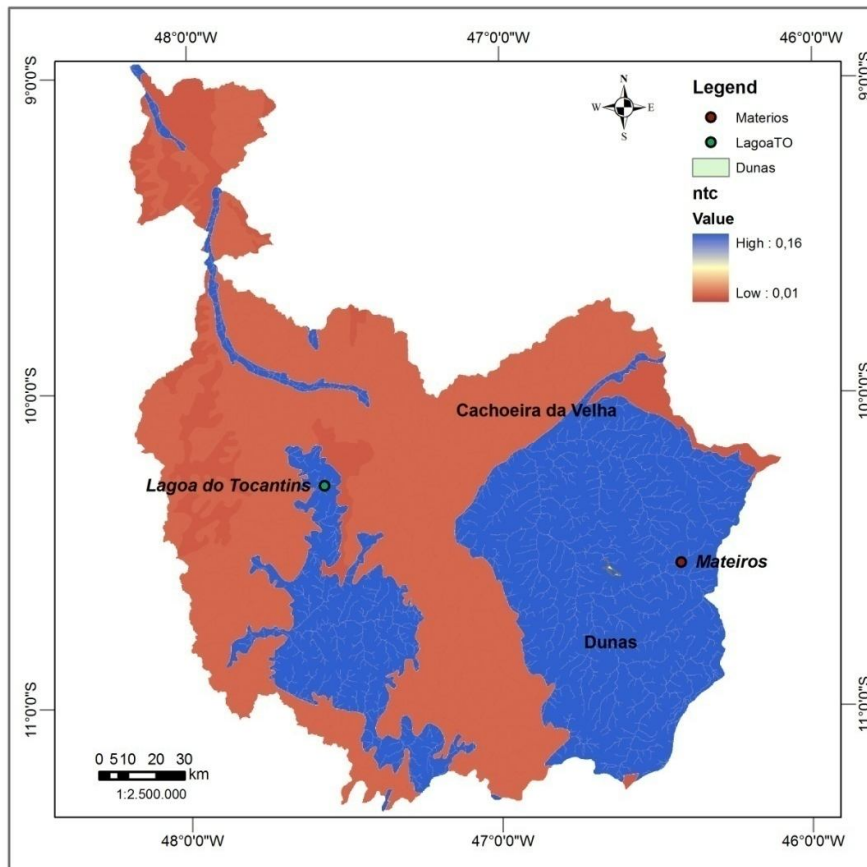
Continua APÊNDICE C – MAPAS DO FATOR TOPOGRÁFICO – LS DAS BACIAS DA ÁREA DO ESTUDO – REGIÃO JALAPÃO PARA APLICAÇÃO NA USLE.



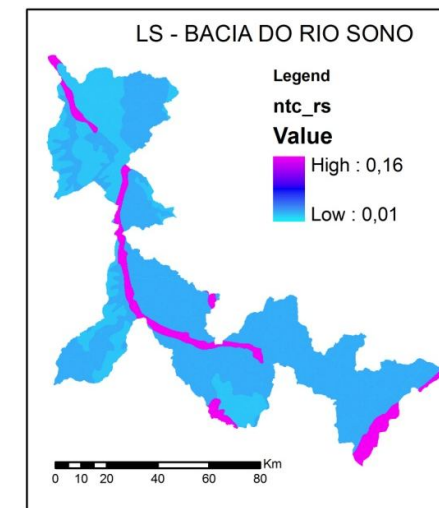
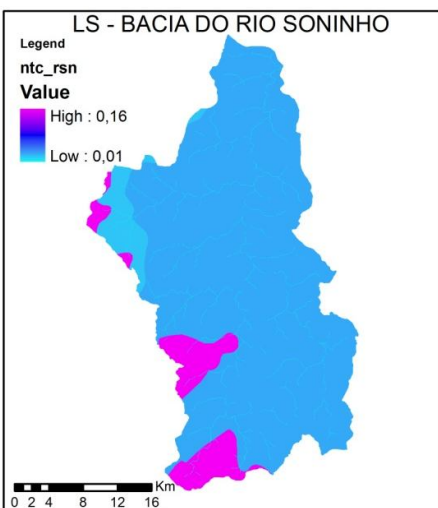
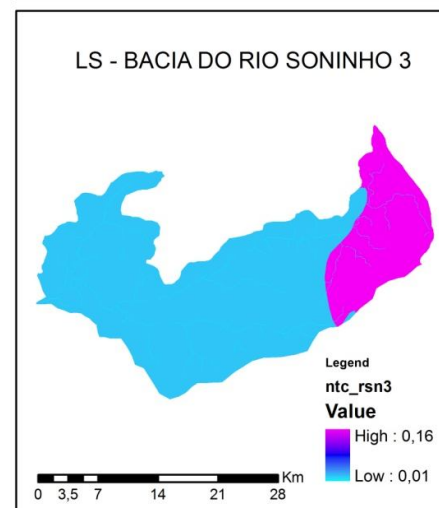
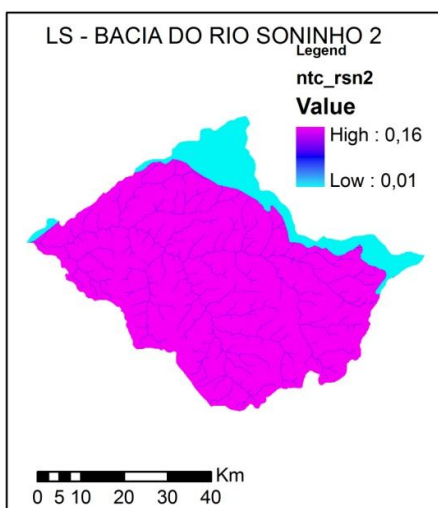
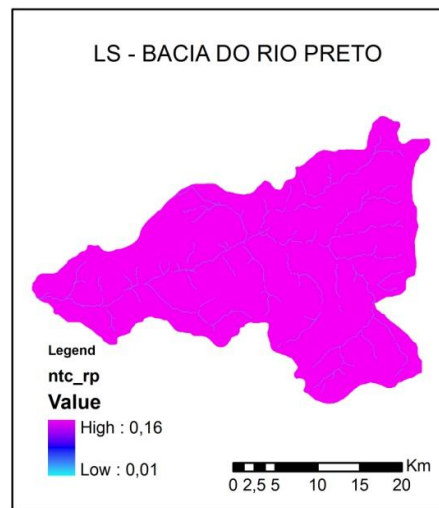
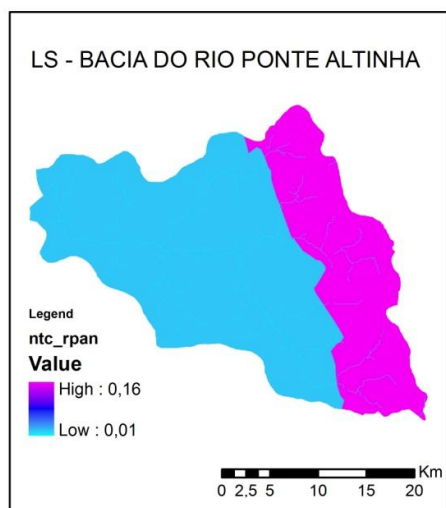
APÊNDICE D – MAPA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS (A) DA ÁREA DO ESTUDO, OBTIDO ATRAVÉS DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DE SOLOS.



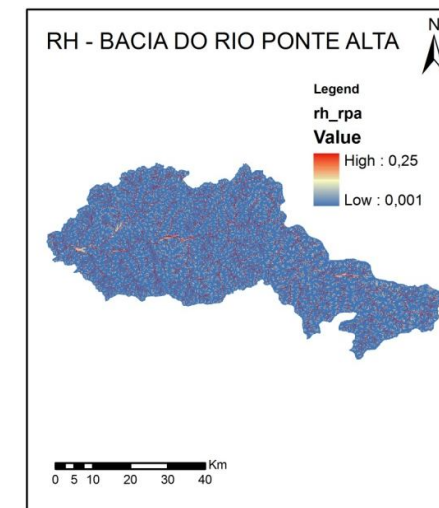
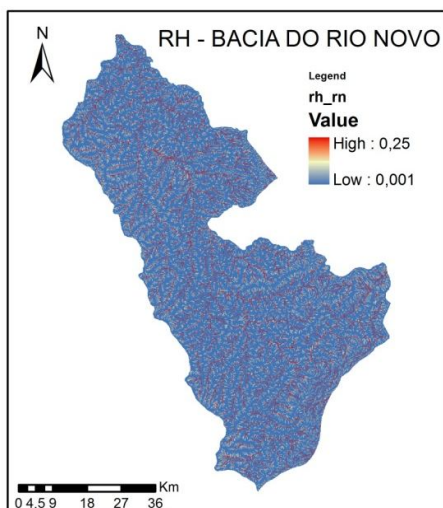
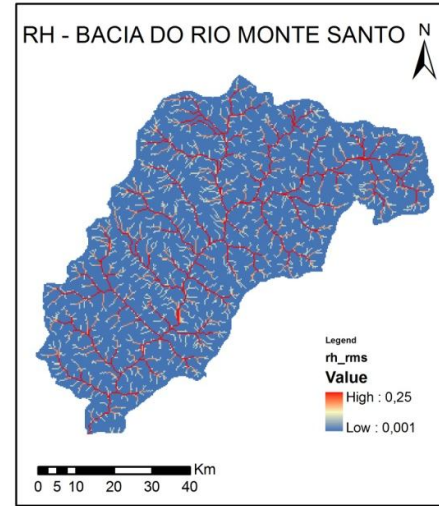
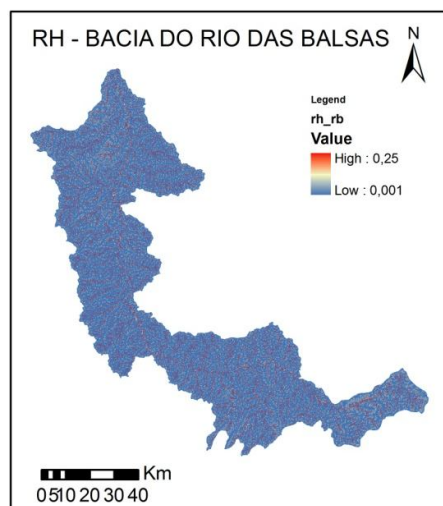
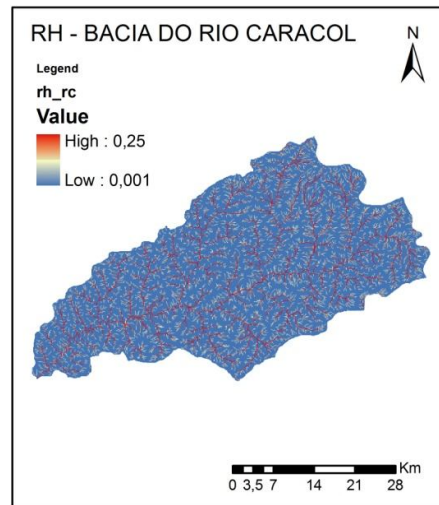
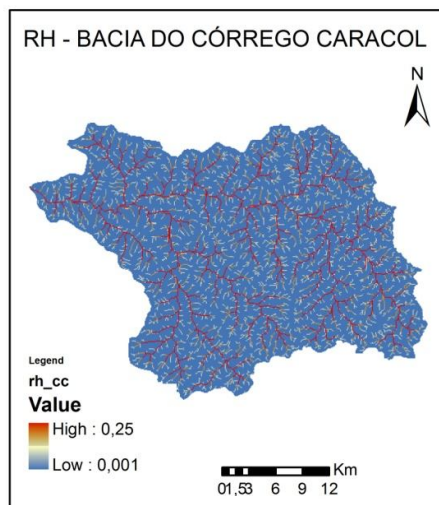
APÊNDICE E – MAPA DO COEFICIENTE DE MANNING – “n” COMBINADO (TERRA+CANAL) DA ÁREA DO ESTUDO – REGIÃO JALAPÃO – TO PARA OBTENÇÃO DO SDR (t).



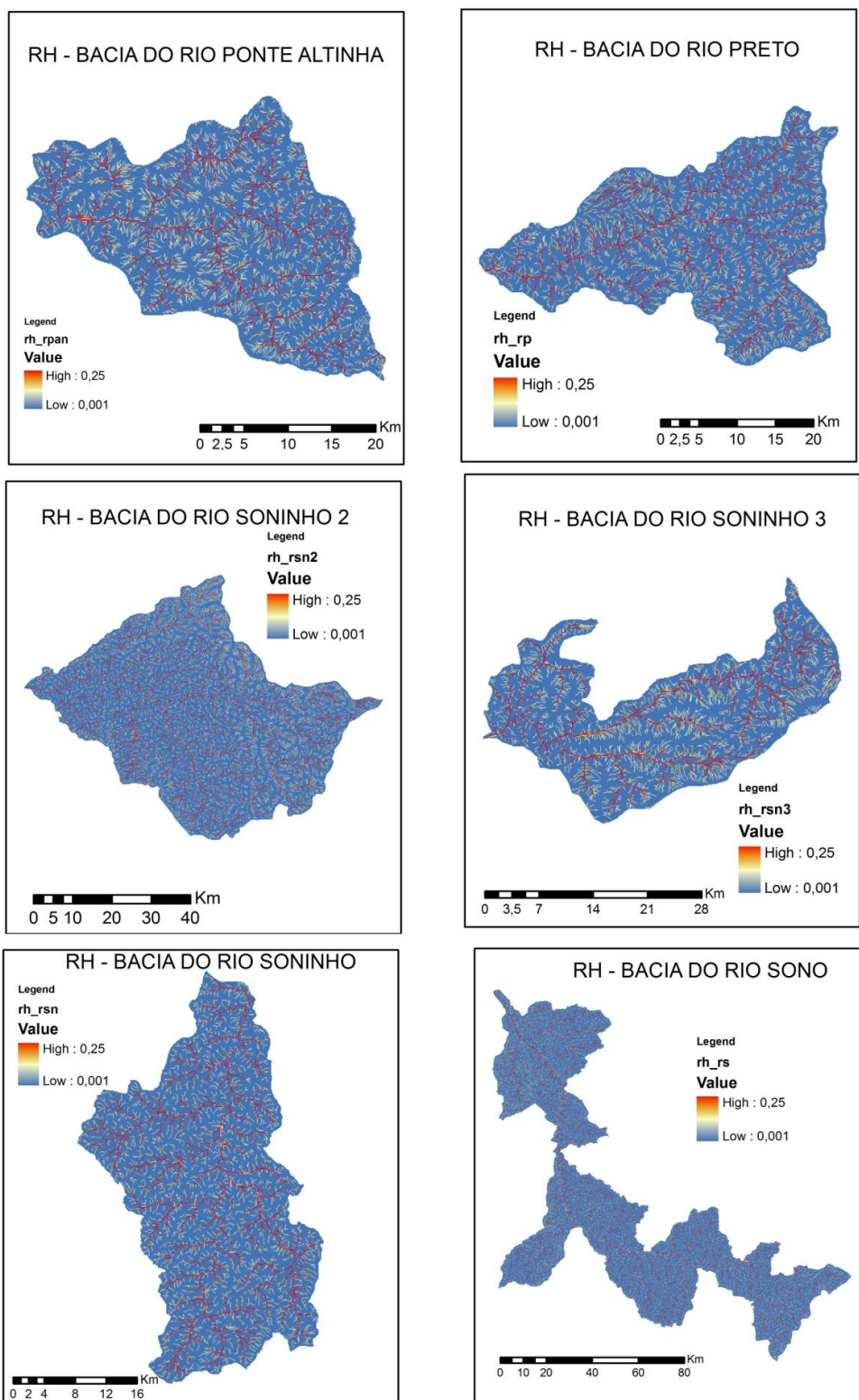
**Continua APÊNDICE E – MAPAS DO COEFICIENTE DE MANNING – “n”
COMBINADO (TERRA+CANAL) DAS BACIAS DA ÁREA DO ESTUDO - SDR (t).**



APÊNDICE F – MAPAS DO RAO HIDRÁULICO PARA AS BACIAS DA ÁREA DO ESTUDO – REGIÃO JALAPÃO – TO, PARA OBTENÇÃO DO SDR (t).

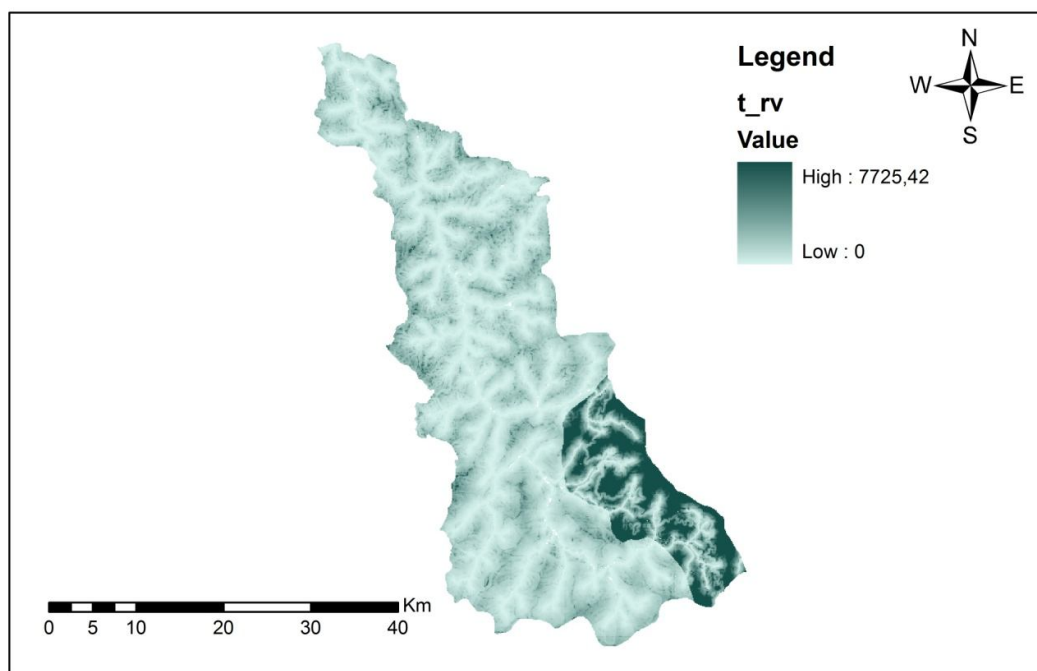


Continua APÊNDICE F – MAPAS DO RAIOS HIDRÁULICO PARA AS BACIAS DA ÁREA DO ESTUDO – REGIÃO JALAPÃO – TO, PARA OBTENÇÃO DO SDR (t).

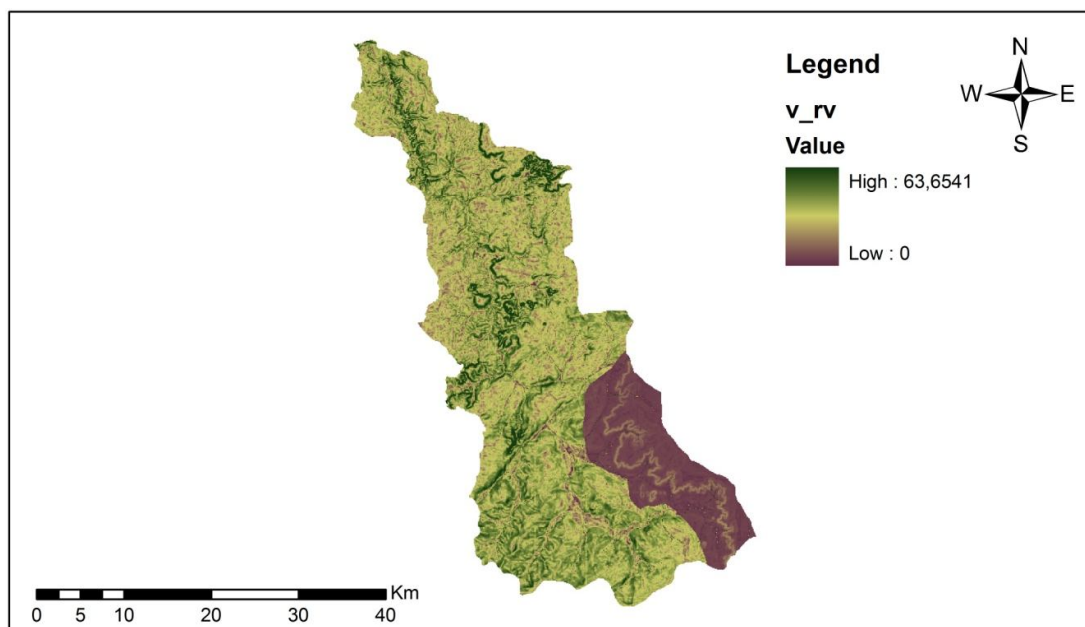


APÊNDICE G – MAPAS DO TEMPO E DA VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA BACIA DO RIO VERMELHO PARA O CÁLCULO DA SDR (t)

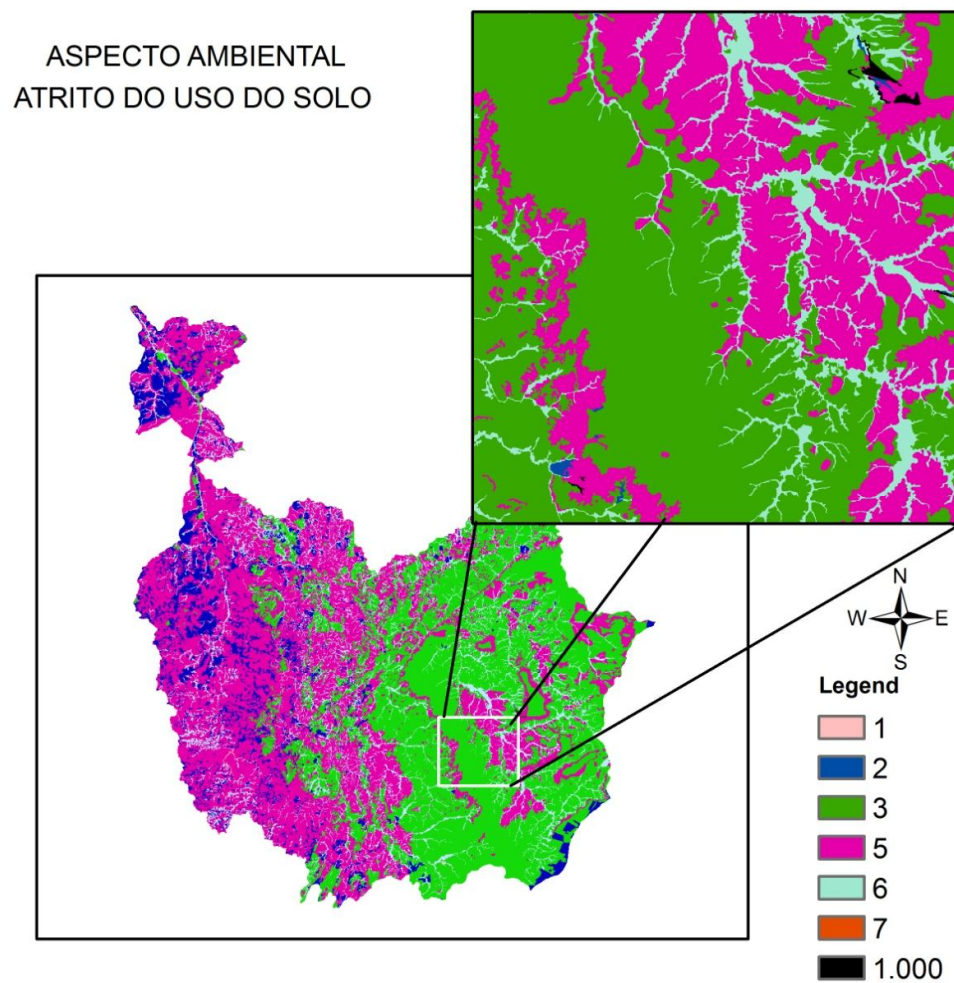
SDR - TEMPO DE DESLOCAMENTO - BACIA DO RIO VERMELHO



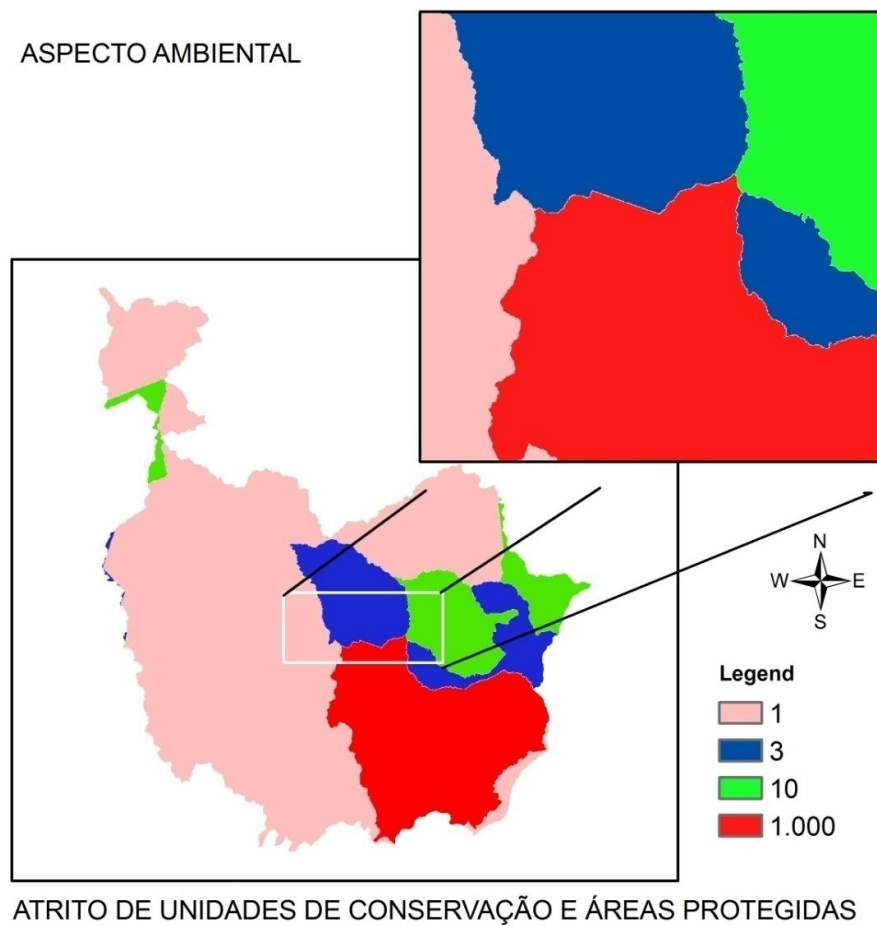
SDR - VELOCIDADE DE ESCOAMENTO - BACIA DO RIO VERMELHO



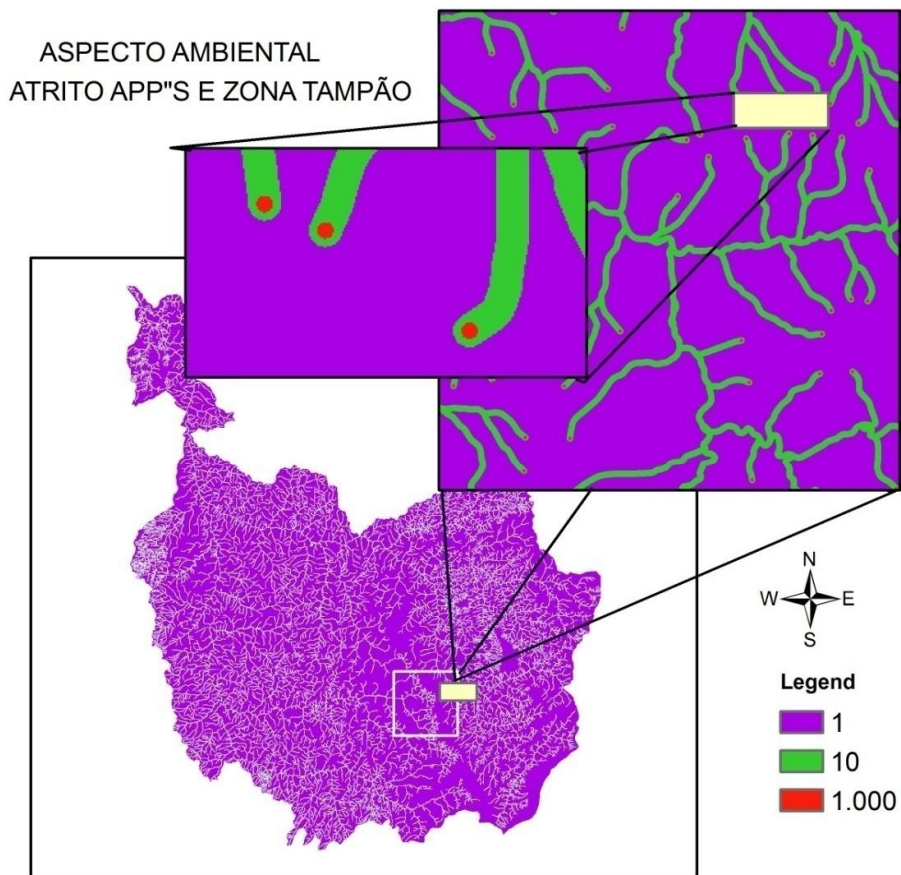
APÊNDICE H – MAPA DE ATRITO DO USO POTENCIAL DO SOLO – ASPECTOS AMBIENTAIS



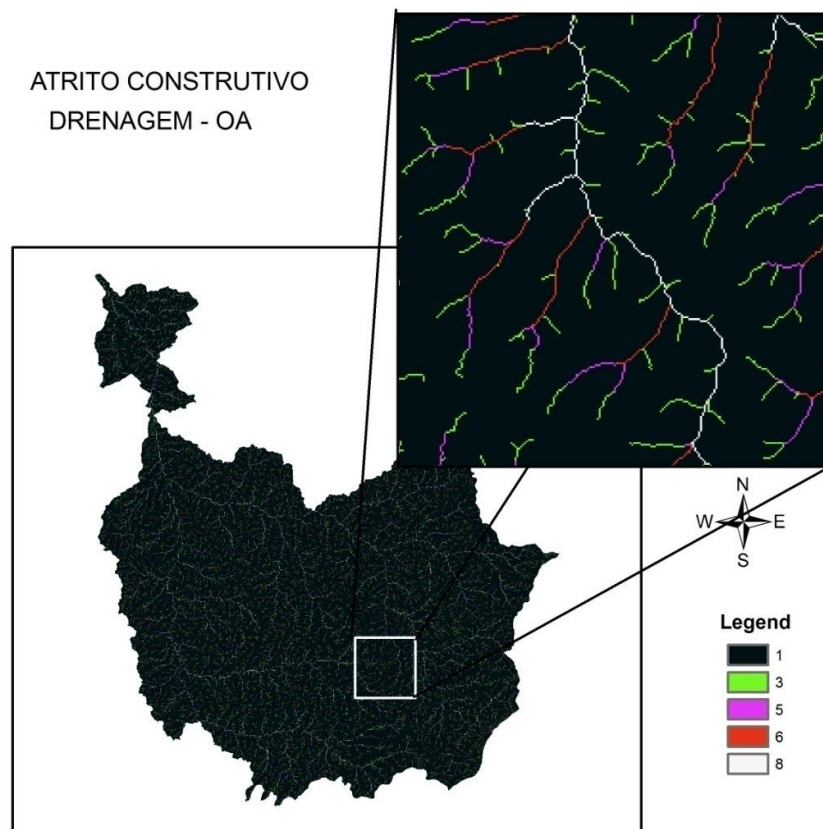
APÊNDICE I – MAPA DE ATRITO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO E ÁREAS PROTEGIDAS – ASPECTOS AMBIENTAIS.



APÊNDICE J – MAPA DE ATRITO DAS APP'S DAS NASCENTES E ZONA TAMPÃO DOS CURSOS D'ÁGUA – ASPECTOS AMBIENTAIS.



APÊNDICE L – MAPA DO ATRITO DE OBRAS DE ARTE – ASPECTOS CONSTRUTIVOS.



APÊNDICE M – MAPA DE ATRITO DE GRADIENTE DE RAMPA – ASPECTOS CONSTRUTIVOS

