

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Caroline Ramos

**UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO
PARA OTIMIZAÇÃO DE TRAÇADOS EM
EMPREENDIMENTOS LINEARES**

Porto Alegre
dezembro 2009

CAROLINE RAMOS

**UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO
PARA OTIMIZAÇÃO DE TRAÇADOS EM
EMPREENHIMENTOS LINEARES**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Alfonso Risso

Porto Alegre
dezembro 2009

CAROLINE RAMOS

**UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO
PARA OTIMIZAÇÃO DE TRAÇADOS EM
EMPREENHIMENTOS LINEARES**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 2 de dezembro de 2009

Prof. Alfonso Risso
Mestre em Engenharia Civil (IPH/UFRGS)
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Alfonso Risso (DOH/UFRGS)
Mestre em Engenharia Civil (IPH/UFRGS)

Prof Lawson Beltrame (DOH/UFRGS)
Mestre em Engenharia Civil (IPH-UFRGS)

Prof. Ronaldo dos Santos Rocha (D. GEODÉSIA/UFRGS)
Doutor em Engenharia de Produção (UFSC)

Dedico este trabalho a minha mãe, Marlei, que sempre me apoiou e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação esteve ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Alfono Risso pela orientação, motivação e pela dedicação durante a realização deste trabalho.

Ao Professor Lawson Beltrame e ao Professor Ronaldo dos Santos Rocha por aceitarem gentilmente o convite para fazer parte da banca examinadora.

À professora Carin, por ajudar no correto andamento do trabalho, pelo tempo dedicado às aulas e pelo incentivo à pesquisa.

A minha mãe pela educação que me foi dada e por me apoiar em todos os momentos de minha vida.

A minha irmã e minhas sobrinhas: Clara e Antônia, por todo amor e proteção que sempre me deram e em especial ao meu cunhado Celson, por toda a ajuda neste trabalho.

As duas grandes amizades conquistadas na faculdade: Liane Saffi e Renê Amaral, pela ajuda incondicional e pelo carinho.

A mente que se abre a uma nova idéia jamais volta ao seu tamanho original.

Albert Einstein

RESUMO

RAMOS, C. **Utilização de Técnicas de Geoprocessamento para Otimização de Traçados em Empreendimentos Lineares**. 2009. 70 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Este trabalho tem como objetivo descrever a aplicação das técnicas de geoprocessamento como forma de auxiliar no desenvolvimento de projetos de empreendimentos lineares de grande porte. Para tanto, faz-se uma abordagem dos métodos utilizados atualmente no que diz respeito à aquisição de dados geográficos e formas de processamento para a utilização nesse tipo de trabalho. A Engenharia tem hoje, como aliada, algumas ferramentas computacionais de fácil aquisição que permitem a visualização antecipada dos problemas que os projetistas enfrentarão para definir traçados de menor impacto ao meio ambiente. Pensando nestas novas possibilidades, este trabalho pretende descrever as técnicas de geoprocessamento como uma dessas facilidades computacionais. A motivação deste trabalho vem da importância dos aspectos ambientais serem cada vez maior para a tomada de decisões relacionadas ao gerenciamento de empreendimentos como linhas de transmissão (LT) e rodovias. Será demonstrada a potencialidade dessa ferramenta como forma de estimar alternativas economicamente e ambientalmente mais atrativas aos empreendedores de obras de Engenharia Civil e a sociedade como um todo.

Palavras-chave: geoprocessamento, SIG, empreendimentos lineares.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: diagrama de pesquisa	16
Figura 2: divisão das células de uma imagem	19
Figura 3: representação vetorial	19
Figura 4: representação vetorial versus matricial	20
Figura 5: representação da superfície terrestre: a) projeção plana; b) projeção cônica; c) projeção cilíndrica	22
Figura 6: forma de representação da superfície da Terra	23
Figura 7: latitude e longitude	24
Figura 8: sensoriamento remoto (representação)	27
Figura 9: aplicação das bandas de um sensor orbital TM	28
Figura 10: aquisição de amostras	29
Figura 11: obtenção de fotografias aéreas	30
Figura 12: exemplos de dados pontuais de levantamento de campo	31
Figura 13: procedimentos de interpolação a) dados pontuais e b) malha interpolada	31
Figura 14: superfície de malha triangular	32
Figura 15: técnica de análise espacial	34
Figura 16: estrutura geral de um SIG	35
Figura 17: exemplo de mapa de curvas de nível	36
Figura 18: representação visual de um MNT	37
Figura 19: Área de estudo LT	47
Figura 20: imagens LANDSAT separadas por bandas LT	48
Figura 21: composição de bandas LT	49
Figura 22: classificação supervisionada LT	50
Figura 23: uso do solo LT	51
Figura 24: pesos do uso do solo LT	52
Figura 25: declividades LT	52
Figura 26: peso declividades LT	53
Figura 27: geotécnico LT	53
Figura 28: peso geotécnico LT	54
Figura 29: buffer LT	54
Figura 30: mapa de atrito LT	55
Figura 31: mapa de custo da LT	56
Figura 32: rodovia	57

Figura 33: imagens LANDSAT separadas por bandas para rodovia	57
Figura 34: classificação supervisionada rodovia	58
Figura 35: uso do solo rodovia	59
Figura 36: pesos do uso do solo rodovia	59
Figura 37: declividades rodovia	60
Figura 38: peso das declividades rodovia	60
Figura 39: geotécnico rodovias	60
Figura 40: peso geotécnico rodovia	61
Figura 41: buffer trecho 1 da rodovia	61
Figura 42: buffer trecho 2 da rodovia	62
Figura 43: mapa de atrito rodovia	62
Figura 44: mapa de custo trecho 1 da rodovia	63
Figura 45: mapa de custo trecho 2 da rodovia	63
Figura 46: mapa de atrito ambiental final LT	64
Figura 47: mapa de atrito ambiental final buffer LT	65
Figura 48: mapa de atrito ambiental final rodovia	66
Figura 49: mapa de atrito ambiental final buffer rodovia	66

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 MÉTODO DE PESQUISA	13
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	13
2.2 OBJETIVO DO TRABALHO	13
2.2.1 Objetivo Principal	13
2.2.2 Objetivos Secundários	13
2.3 PREMISSAS	14
2.4 DELIMITAÇÕES	14
2.5 LIMITAÇÕES	14
2.6 DELINEAMENTO	14
3 GEOPROCESSAMENTO DE DADOS	17
3.1 ESTRUTURAS DE DADOS	18
3.2 CONCEITOS DE CARTOGRAFIA	20
3.2.1 Sistemas de Projeções	21
3.2.2 Sistemas de Coordenadas	23
3.3 AQUISIÇÃO DE DADOS	24
3.3.1 Dados Analógicos Digitalizados	25
3.3.2 Dados Digitais	26
3.3.3 Interpolação de Dados	30
3.3.4 Dados de Campo	32
3.4 ANÁLISE DE DADOS	33
3.4.1 Sistemas de Informações Geográficas	34
3.4.2 Modelagem Numérica de Terreno	36
4 MÉTODO MULTICRITÉRIO PARA APOIO A DECISÃO	38
5 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS EM EMPREENDIMENTOS LINEARES	40
6 MATERIAIS E MÉTODOS	45
6.1 ESTUDO DE UMA LINHA DA TRANSMISSÃO	46
6.2 ESTUDO DE UMA RODOVIA	56
7 RESULTADOS	64
8 CONCLUSÕES	67
REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

A análise dos problemas ambientais que serão causados por obras de grande porte, como as linhas de transmissão (LT) e rodovias, vem se tornando fundamental para melhorar as estimativas desses impactos. À medida que novas condições são exigidas pelos órgãos regulamentadores para obras desse tipo, a maneira como os incorporadores e projetistas realizam seus trabalhos está mudando. Isso acontece, em boa parte, devido a conscientização ambiental, que se faz formalmente representada através de legislação específica que é relativamente recente.

A quantidade de dados necessários para realizar um trabalho com prazos e recursos otimizados é cada vez maior. Isso gera, por conseguinte, a necessidade de seleção de tecnologias modernas e ferramentas que auxiliam neste processo. Esta demanda exige multidisciplinaridade e deve ser entendida como um processo articulado com todas as etapas do projeto.

Seguindo a ideia de articulação dos processos em projetos de empreendimentos lineares, a criação de ambientes computacionais que possam propiciar uma maior integração dos recursos disponíveis se torna imprescindível atualmente. O emprego de novos recursos, como os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), exemplo de ambiente que pode ser incorporado com facilidade em projetos, permite a aquisição de dados com maior rapidez.

Através da geração de planos de informações geográficas diversos como, por exemplo, o relevo, a geologia e a declividade, pode-se construir um ambiente favorável para o correto gerenciamento do traçado otimizado conforme os parâmetros ambientais exigidos. Por meio desse procedimento entende-se como o meio ambiente está representado antes mesmo de se visitar o local da obra.

Este trabalho constitui em uma demonstração das potencialidades da técnica SIG e de seu uso, pois desenvolveu-se um roteiro de trabalho, delimitando os passos importantes que foram utilizados na confecção do ambiente computacional: o SIG.

O presente trabalho foi estruturado em sete capítulos. Após a introdução apresentada neste capítulo, o capítulo 2 apresenta a questão de pesquisa, os objetivos do trabalho, premissas, delimitações, limitações e seu delineamento.

No capítulo 3 é descrita a técnica de geoprocessamento. Esta explanação explica as razões para seu uso, como funciona o processo de aquisição de dados e suas análises. O capítulo 4 descreve a metodologia de multicritério como forma de auxiliar os processos de tomada de decisão. Esse método é utilizado no intuito de se obter o melhor traçado em termos de minimização de impactos ambientais nos empreendimentos lineares que serão abordados nesta pesquisa.

O capítulo 5 descreve como a avaliação de impactos ambientais é feita para projetos dos empreendimentos lineares que serão analisados nesta pesquisa: linhas de transmissão, e rodovias. Alguns procedimentos e características importantes para que os projetos dessas obras possam ser elaborados também serão mencionados neste capítulo.

O capítulo 6 apresenta o procedimento metodológico do trabalho. Nele são apresentados os dados utilizados e os procedimentos executados para a obtenção dos planos de informação. Através do estudo conjunto dos planos gerados é feita a escolha dos critérios para a ponderação das condicionantes e para a escolha dos traçados com menor intervenção ambiental.

O capítulo 7 apresenta os resultados obtidos através da análise multicritério dos traçados gerados no ambiente SIG.

No capítulo 8 são apresentadas as conclusões.

2 MÉTODO DE PESQUISA

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa é: através do uso de técnicas de geoprocessamento, quais são as diferenças obtidas na minimização de impactos ambientais em projetos de empreendimentos lineares quando comparadas aos métodos usuais?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

2.2.1 Objetivo Principal

O presente trabalho tem por objetivo principal avaliar a adequabilidade do uso das técnicas de geoprocessamento associadas à análise multicritério em dois projetos de empreendimentos lineares, como forma de diminuir o número de alternativas de traçados, levando-se em conta a minimização de impactos ambientais.

2.2.2 Objetivos Secundários

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) descrição do uso de técnicas de geoprocessamento como forma de minimizar impactos ambientais;
- b) descrição do uso de técnica de análise multicritério no auxílio de tomada de decisão em projetos de empreendimentos lineares.

2.3 PREMISSAS

É premissa deste trabalho que atualmente as tecnologias computacionais são de fácil acesso aos profissionais e seu emprego torna-se importante na mitigação de impactos ambientais.

2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho está delimitado ao estudo de alternativas de traçado para obras de linhas de transmissão e rodovias.

2.5 LIMITAÇÕES

O trabalho usa como parâmetro para avaliação dos métodos a minimização dos impactos ambientais em empreendimentos lineares e restringe-se a definição dos seus traçados. Neste trabalho o único programa computacional utilizado para geoprocessamento será o IDRISI 15.0, THE ANDES EDITION®.

2.6 DELINEAMENTO

Esta pesquisa foi feita seguindo algumas etapas para seu adequado desenvolvimento. Inicialmente, foi necessária uma pesquisa bibliográfica ampla para poder esclarecer dúvidas sobre determinados procedimentos e solidificar os conhecimentos envolvidos neste estudo. A pesquisa bibliográfica se estendeu até a entrega final do trabalho. Com o auxílio da pesquisa bibliográfica também foi possível determinar quais as ferramentas e softwares necessários para a execução da pesquisa.

Para gerar um Sistema de Informação Geográfica reuniram-se algumas informações da localidade das obras estudadas. Através desse SIG pôde-se compor um ambiente computacional que unificou os dados e possibilitou o estudo preliminar das condicionantes de uma forma mais ágil e sem a necessidade de levantamentos *in loco*. Os dados sobre as declividades foram desenvolvidos através de modelos que estão disponibilizados

gratuitamente na internet. Da mesma maneira, foram obtidas as imagens de satélite necessárias para alimentar o banco de dados.

Priorizou-se a criação desse banco de dados, pois, no desenvolvimento de projetos desse tipo, as análises são feitas levando-se em conta as informações nele contidas. Sendo fundamental a obtenção de dados consistentes para as avaliações.

A avaliação das características da região estudada foi feita por meio da geração de planos de informações com o auxílio da técnica de análise multicritério. Por meio dessa avaliação puderam-se classificar e ponderar as informações relevantes para a escolha de um traçado de menor impacto ambiental. Cada plano é composto por um determinado tipo de informação. Foram desenvolvidos, neste trabalho, planos com informações de relevo, uso de solo, cobertura vegetal, geologia e hidrografia.

Juntamente com estas etapas, foi desenvolvido um roteiro de trabalho, delimitando os procedimentos para a confecção dos traçados de três empreendimentos distintos. No roteiro são descritos todos os critérios e ponderadores ambientais para as obras analisadas. Estes critérios foram determinados seguindo as necessidades técnicas dos empreendimentos, bem como, se valendo das exigências dos órgãos ambientais para cada tipo de obra.

Tendo em mãos todas as condicionantes do terreno para cada obra analisada, foi possível comparar o traçado estimado pelas técnicas apresentadas com os reais já executados. Esta comparação foi feita com o intuito de se refletir como as questões ambientais estão sendo consideradas em trabalhos desse tipo.

Por último se gerou um demonstrativo dos resultados obtidos pelas técnicas apresentadas. A figura 1 mostra o diagrama de pesquisa.

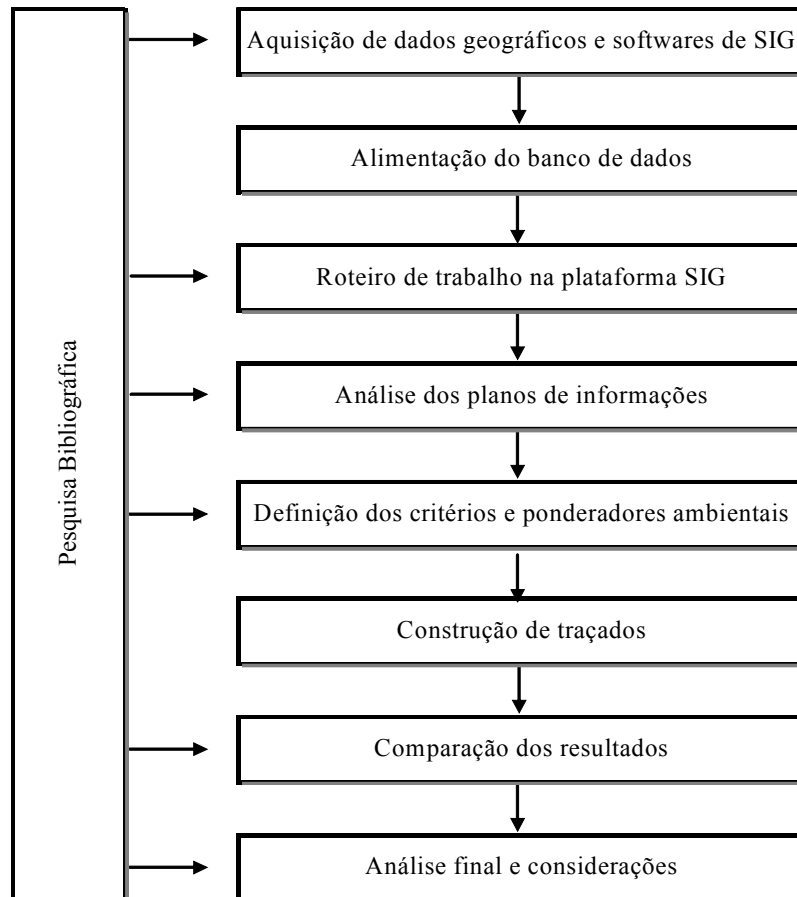


Figura 1: diagrama de pesquisa

3 GEOPROCESSAMENTO DE DADOS

A obtenção de dados geográficos, até recentemente, era feita através de documentos impressos em papel e mapas, impedindo uma combinação rápida e eficiente dos dados neles contidos. Com o desenvolvimento de tecnologias da informação, já é possível trabalhar em ambientes computacionais que permitem tal combinação. O geoprocessamento apresenta-se como uma ferramenta que possibilita tratar informações geográficas e por este motivo vem influenciando de maneira crescente as áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia, planejamento, dentre outros (CÂMARA; DAVIS, 2006, p. 1).

Segundo a definição de Rodrigues (1993, p. 20), o geoprocessamento é o termo entendido como um conjunto de tecnologias que coletam, tratam, manipulam e apresentam informações referenciadas geograficamente em um ambiente computacional. Com isto é possível visualizar dados espaciais em forma de mapas, relatórios e tabelas construindo uma valiosa ferramenta de análise e subsídio para tomadas de decisão. Silva (2001, p. 46) afirma que por meio do geoprocessamento também é possível fazer análises ambientais através de procedimentos que permitem a investigação detalhada do relacionamento entre entidades pertencentes a um ambiente. Para tanto, é preciso contar com uma base de dados confiável sobre o qual serão reunidos seus dados, o que demanda conhecimentos sobre a cartografia automatizada.

Ter conhecimento das condicionantes territoriais não é simplesmente fazer a justaposição de dados, mas sim fazer, também, a integração dos mesmos dentro de um único meio ambiente. O geoprocessamento se torna importante, pois permite individualizar características do espaço para que se possa atuar mais confiavelmente e representar e modelar melhor os fenômenos que neles ocorrem (SILVA, 2001, p. 70). Contudo, Mendes e Cirilo (2001, p. 18) ressaltam a importância de se avaliar os riscos do uso desses modelos. Para eles a estruturação e correlações espúrias, a aproximação e analogia ao irrealismo são apenas alguns dos vários perigos provindos de erradas avaliações de símbolos, formas, simplificações e do rigor matemático. É importante ter cautela com a visão excessivamente formalizada da realidade e com a estruturação dos problemas de forma mais abrangente do que permitem os dados utilizados, resultando assim em previsões inadequadas.

3.1 ESTRUTURAS DE DADOS

Mendes e Cirilo (2001, p. 60) definem o modelo de dados com uma abstração do mundo real, uma conceituação da realidade em um espaço geográfico. Devido as diferentes aplicações que se pode ter, são gerados diferentes modelos. Os dados geográficos podem ser:

- a) espaciais: refere-se a uma localização, um dado localizado no espaço por um sistema predefinido de coordenadas;
- b) descritivos: refere-se às características da entidade espacial;
- c) temporais: refere-se ao período ou época da ocorrência do fenômeno ou fato geográfico.

Os dados espaciais são os mais usados em geoprocessamento. Eles são classificados da seguinte forma: dados matriciais ou raster e dados vetoriais.

Por meio das informações matriciais ou raster, é gerada uma correspondência entre a discretização do plano de informação e o arranjo de linhas e colunas clássico das matrizes bidimensionais A_{ij} , onde i é a posição da linha e j a posição da coluna. Para se fazer essa correspondência cruza-se a matriz com as coordenadas de localização no espaço geográfico (coordenadas geográficas), utilizando, para isso, as unidades de discretização, também chamadas de células. O conjunto dessas células, neste modelo, pode representar pontos, linhas ou áreas da localidade (SILVA, 2001, p. 77).

Segundo Pina (2000, p. 62), as células são comumente chamadas de *pixel* e constitui a menor informação existente nesse espaço. Elas armazenam um valor indicativo do tipo do objeto que é encontrado em uma determinada posição. Neste contexto é importante definir o conceito de resolução espacial, que é a capacidade do sensor que capta a informação do objeto no espaço, de individualizar elementos gráficos e definir o tamanho do *pixel*. Para que se possa ter um bom entendimento do objeto em estudo é importante que ele seja do mesmo tamanho, ou maior que o tamanho da célula. Todos os objetos que possuírem tamanhos inferiores ao do *pixel* não irão ser identificados ou bem compreendidos. A figura 2 mostra como pode ser caracterizada fisicamente essa divisão de células.

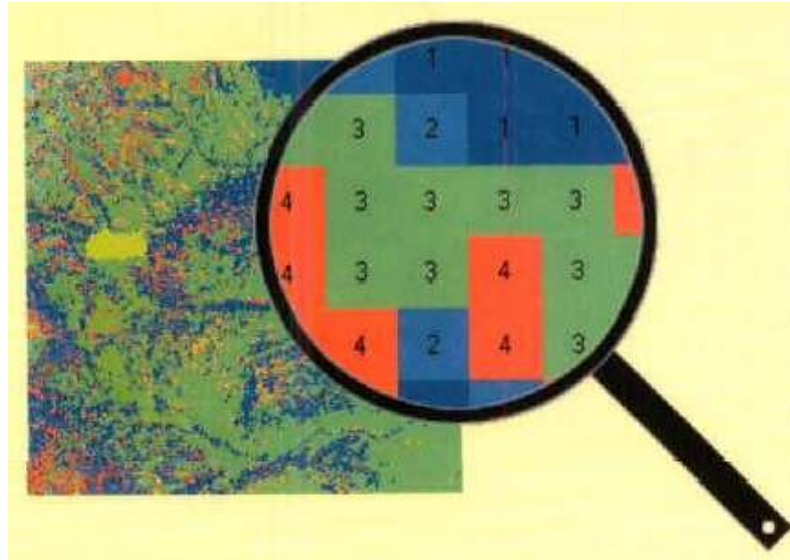


Figura 2: divisão das células de uma imagem (INTERGRAPH CORPORATION, 1995)

Na estrutura de informação vetorial os objetos são descritos na forma de vetores (pontos, linhas e polígonos), sendo associados a cada um deles um ou mais atributos. O espaço, neste modelo, pode ser considerado contínuo permitindo assim que todas as posições, comprimentos e dimensões sejam definidas com precisão. Um ponto abrange todas as entidades geográficas que possuam somente um par de coordenadas. Já uma linha compreende todos os elementos lineares constituídos por segmentos de retas a partir de duas ou mais coordenadas. O polígono, por sua vez, abrange as propriedades topológicas das áreas ou formas. Estas representações são demonstradas na figura 3 (MENDES; CIRILO, 2001, p. 69).

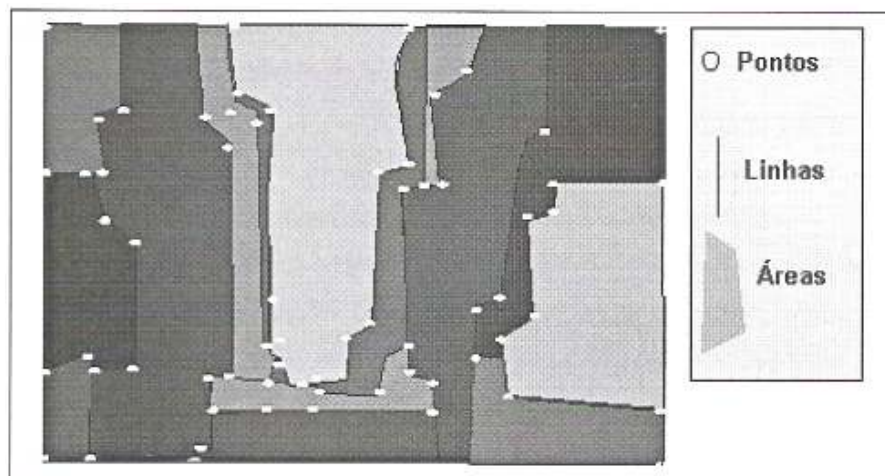


Figura 3: representação vetorial (MENDES; CIRILO, 2001)

O modelo vetorial tem a vantagem de ser uma estrutura mais compacta do que a matricial, constituindo assim um modelo mais eficiente na análise de relacionamentos espaciais. Em contrapartida ele exige programas mais sofisticados e operadores mais bem treinados. As operações de superposição de níveis de informação, no modelo vetorial são bem mais complexas (PINA, 2000, p. 65). A figura 4 faz uma comparação da visualização deste dois modelos.

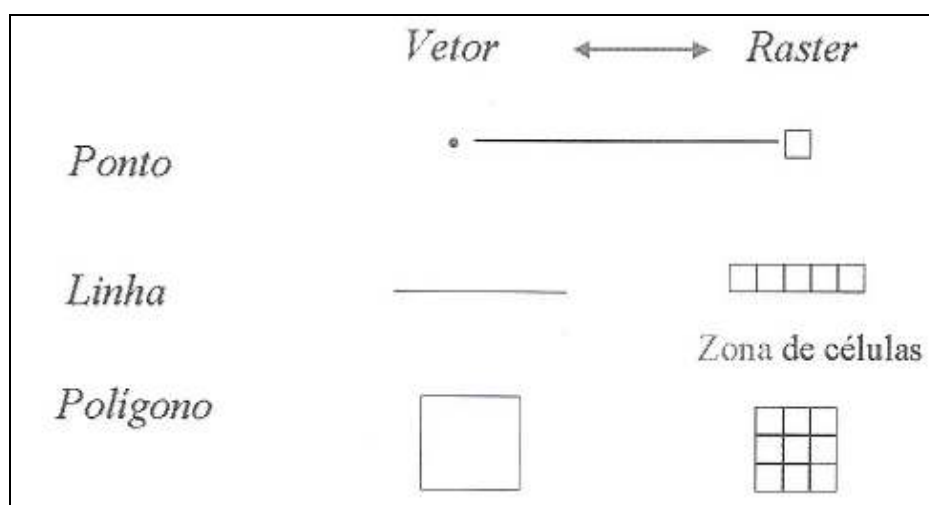


Figura 4: representação vetorial versus matricial (MENDES; CIRILO, 2001)

3.2 CONCEITOS DE CARTOGRAFIA

Uma das linguagens mais antigas de que se tem conhecimento é a gráfica. Desde cedo o homem teve a necessidade de se posicionar no espaço para garantir a sua sobrevivência. As informações gráficas deveriam ser guardadas de forma que todos pudessem ter acesso a elas, por esse motivo, começou a existir a descrição do espaço físico por meio de símbolos. Com o avanço da matemática e da astronomia, foi possível melhorar essas descrições criando assim os mapas (MENDES; CIRILO, 2001, p.116).

Nos mapas e cartas topográficas, estão dispostos os dados espaciais, que são entendidos e lidos, principalmente, pelo seu atributo de localização geográfica. Qualquer objeto na superfície terrestre somente tem sua localização geográfica estabelecida quando relacionado com outro objeto o qual já se saiba sua posição. Essas definições de posicionamento terrestre

são analisadas matematicamente através dos sistemas de referências, que são classificados em sistemas de projeções e de coordenadas (D'ALGE, 2006, p. 2).

3.2.1 Sistemas de Projeções

Mendes e Cirilo (2001, p. 116) afirmam que os sistemas de projeções têm por objetivo representar a superfície da Terra em uma forma plana, de maneira que cada ponto da Terra corresponda a um ponto no plano de graficação (mapa). Essas representações planas podem carregar alguns erros e, por esse motivo, existem várias projeções diferentes como forma de minimizar as distorções em certas propriedades às custas de maximizar erros em outras. Diversos métodos são aplicados na confecção das projeções cartográficas no intuito de ajustar uma melhor superfície para o trabalho que se deseja. Nestes processos de confecção, as principais propriedades que são levadas em conta, são as seguintes:

- a) conformidade: quando, em qualquer ponto do mapa, a escala é a mesma em qualquer direção. Essa projeção é chamada conforme. A forma das características dos objetos na superfície é preservada;
- b) distância: ao retratar as distâncias do centro da projeção para qualquer outro lugar no mapa, ele é dito eqüidistante;
- c) escala: consiste em uma relação entre uma distância retratada no mapa e a mesma distancia na superfície terrestre;
- d) direção: a direção do mapa é preservada quando os azimutes são retratados corretamente em todas as direções;
- e) área: quando as relações de proporcionalidade de áreas em um mapa e na terra são mantidas.

D'Alge (2006, p. 8) define que os principais sistemas de projeções são: plana ou azimutal, cônica e cilíndrica. Estas levam em conta o tipo de superfície do qual são projetadas. Na projeção plana ou azimutal o mapa é obtido de um plano tangente ou secante a um ponto da superfície terrestre. A projeção cônica o mapa é construído a partir de um cone que envolve a Terra e que é desenrolado. Na projeção cilíndrica, o mapa é construído por um cilindro tangente ou secante à superfície que depois é então aberto. A figura 5 mostra como a forma da superfície terrestre é representada.

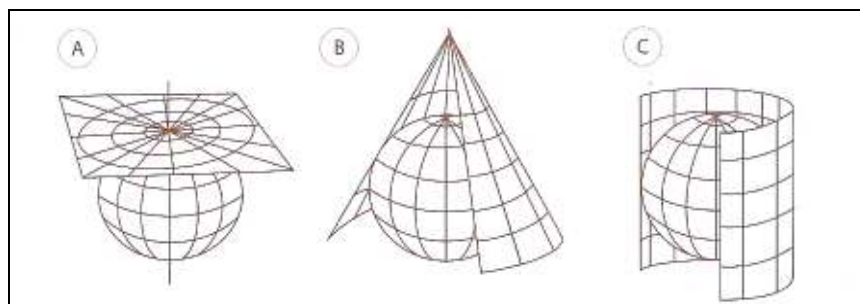


Figura 5: representação da superfície terrestre: a) projeção plana; b) projeção cônica; c) projeção cilíndrica (FITZ, 2008)

O sistema de projeção Universal Transversal de Mercator – UTM – é o sistema mais utilizado nos mapas do Brasil. Ele é construído a partir de uma projeção cilíndrica, transversal e secante ao globo terrestre. Ele divide a superfície em sessenta fusos, sendo cada um deles com seis graus de longitude, contados a partir do antimeridiano de Greenwich, no sentido oeste-leste (FITZ, 2008, p. 69). Cada um desses fusos possui um Meridiano Central – MC – dividindo o fuso ao meio. Todos os fusos possuem a mesma contagem de coordenadas. Elas têm origem no cruzamento entre a Linha do Equador e o Meridiano Central do fuso. A extensão em latitude nesse sistema vai até as calotas polares, de 80° Sul até 84° Norte (PINA; CRUZ, 2000, p. 104).

Conceição e Souza (2000, p. 12) afirmam que se valendo do objetivo principal da construção de um sistema de projeção, é preciso se obter a forma real da superfície terrestre, ou a mais fiel delas. Sendo, a Terra um geóide, é preciso encontrar uma forma matemática que melhor represente esta geometria. Atualmente, para fins matemáticos, é considerado que a superfície da Terra seja um elipsóide. Pina e Cruz (2000, p. 92) explicam que para ter uma melhor correlação entre o geóide e o elipsóide, utiliza-se um elipsóide de revolução, também chamado de *Datum*. Como, a forma verdadeira da Terra não é regular, não existe um único elipsóide. Cada país escolhe um que melhor se ajuste à sua região. A figura 6 apresenta um desenho representativo das diferentes formas de avaliar a superfície terrestre.

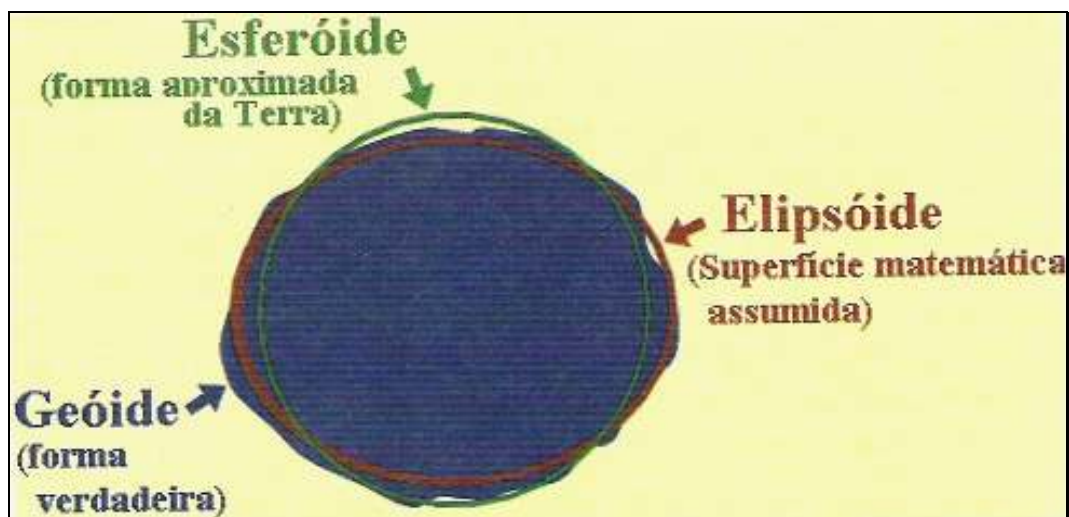


Figura 6: forma de representação da superfície da Terra
(INTERGRAPH CORPORATION, 1995)

3.2.2 Sistemas de Coordenadas

Fitz (2008, p. 67) afirma que os sistemas de coordenadas correspondem a um conjunto de valores de referência para o posicionamento de pontos em uma determinada superfície. Esse posicionamento pode ser por meio de valores angulares (coordenadas esféricas) e por meio de valores lineares (coordenadas planas).

Os sistemas de coordenadas geográficas configuram-se em uma rede quadriculada de linhas imaginárias no globo terrestre, desenhadas na horizontal e na vertical, que fornecem medidas de longitude e latitude. Segundo definição de Valeriano (2004, p. 10), longitude de um lugar é o arco de um círculo formado por planos paralelos ao Equador e que cortam a Terra. São medidos em graus, minutos e segundos entre o lugar e o meridiano principal. É universalmente aceito como meridiano principal o de Greenwich e a ele corresponde 0° de longitude. A latitude de um lugar é um arco de meridiano, medido em graus, minutos e segundos entre esse lugar e o Equador. Os meridianos são semicírculos máximos cujos extremos coincidem com os pólos norte e sul. A figura 7 ilustra a localização do meridiano de Greenwich, a linha do Equador e a aquisição dos ângulos de latitude e longitude no globo terrestre.

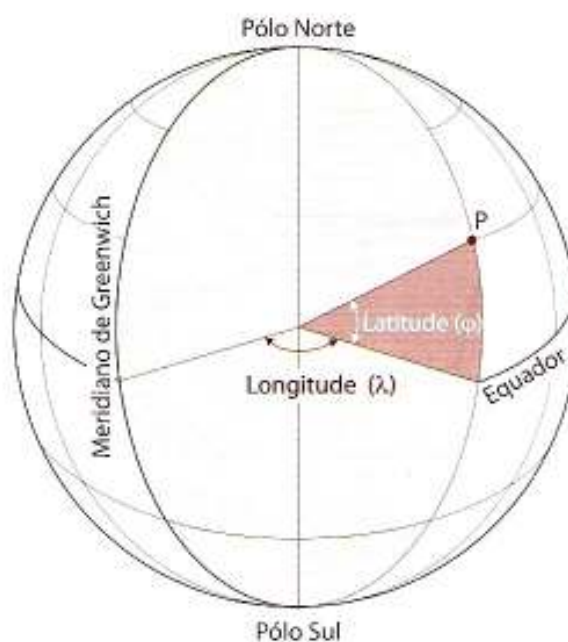


Figura 7: latitude e longitude (FITZ, 2008)

O outro sistema utilizado para confecção de mapas é o sistema de coordenadas planas ou também chamado de cartesiano. Este se baseia na definição de dois eixos perpendiculares entre si cuja interseção é a origem. Eles definem a posição do ponto por dois números reais que correspondem a projeção no eixo X (horizontal) e outra no eixo Y (vertical) (D'ALGE, 2006, p. 7).

3.3 AQUISIÇÃO DE DADOS

A aquisição de dados geográficos requer um grande esforço, pois o objetivo principal de se adquirir dados geográficos é o de criar um banco de dados confiável para execução de trabalhos de geoprocessamento. Os dados que irão compor esses bancos devem estar em uma mesma base cartográfica, ou seja, devem possuir os mesmo sistemas de projeções, *datum* e coordenadas para que possam ser analisados entre si. Pelo fato da importância que um banco de dados tem em um ambiente SIG, é imprescindível que os operadores e projetistas tenham as definições de cartografia claras e bem entendidas (MENDES, CIRILO, 2001, p. 179). Burrough (1986, p. 18) classifica os dados passíveis de geoprocessamento como sendo: dados analógicos, digitais, adquiridos por interpolação ou também por equipes de campo.

3.3.1 Dados Analógicos Digitalizados

Os dados analógicos, na maioria das vezes são dispostos em mapas ou cartas topográficas. Segundo Loch e Cordini (2000, p.14) o mapa é o material no qual a comunicação gráfica é apresentada. Ele constitui em uma representação cartográfica que mostra aspectos geográficos naturais e artificiais, podendo cobrir grandes áreas de uma determinada localidade. Para este tipo de representação é importante escolher um sistema de projeção que melhor atenda as finalidades do mapa.

Por definição, Fitz (2008, p. 28) classifica os mapas de acordo com os objetivos ou a sua escala. Em razão dos objetivos a classificação é:

- a) mapas genéricos ou gerais: servem apenas para efeito ilustrativo, sem grande precisão, mostrando aspectos físicos e obras humanas. Ex.: mapa de divisão política de um país;
- b) mapas especiais ou técnicos: são feitos para um fim específico com precisão variável. Ex.: mapa meteorológico;
- c) mapas temáticos: apresentam alguns temas sobre outros mapas já existentes. Representa fenômenos espacialmente distribuídos na superfície. Ex.: mapa de solos;
- d) mapa ou carta imagem: quando uma imagem é apresentada sobre um mapa-base. Utilizados para completar as informações, a fim de facilitar o entendimento do usuário.

As representações cartográficas de acordo com a escala podem ser descritas como:

- a) plantas: possuem escalas muito grandes, maiores que 1:1.000. Elas servem para representar detalhamentos do terreno;
- b) carta cadastral: muito precisa, com escalas maiores que 1:5.000. Elas são elaboradas com base em levantamentos topográficos ou aerofotogramétricos;
- c) carta topográfica: compreende escalas médias, entre 1:25.000 e 1:250.000. Possuem dados planimétricos e altimétricos;
- d) carta geográfica: com escalas pequenas, menores que 1:50.000 feitas a partir de curvas de nível ou de cores hipsométricas.

Todas essas formas físicas de se obter dados da superfície terrestre podem ser colocados em um ambiente computacional para que se possa interagir com diferentes tipos de informações. Isso é feito através da digitalização desses dados. Esse processo consiste em uma forma de converter os dados para o formato digital. Os principais métodos usados para essa

transformação são a digitalização manual e a digitalização por equipamentos de rasterização. A escolha do método mais apropriado depende do tempo de aquisição, do custo, das naturezas das aplicações e das fontes de dados disponíveis (PINA et al., 2000, p. 84).

A digitalização manual é feita por meio de uma superfície composta por uma malha fina de fios, que compõe as coordenadas. Essa superfície chama-se mesa digitalizadora. Conforme o espaçamento dos fios se dá a resolução da mesa. Esse processo consiste em desenhar novamente todas as feições do mapa. Este tipo de aquisição de dados é demorado e podem ocorrer erros na sua obtenção, porém não necessita de grandes recursos computacionais (SCARIM; TEIXEIRA, 1994, p. 17).

A rasterização, ou digitalização automática, é feita através de um *scanner* para registrar as unidades do mapa, o *pixel*. A qualidade dessas informações é definida pela resolução do material escaneado. Essa resolução provém do menor detalhe que se quer digitalizar, da capacidade do armazenamento e da precisão que se deseja alcançar. Para esse processo são necessários, no mínimo, três pontos de controle, eles irão servir para o georreferenciamento do documento (PINA et al., 2000, p. 88).

3.3.2 Dados Digitais

Alguns dados geográficos podem ser adquiridos diretamente na forma digital. Esse processo é chamado de sensoriamento remoto. O sensoriamento consiste na técnica de se adquirir informações da superfície desejada sem o contato físico com a mesma. Essa aquisição é feita por meio de sensores que podem estar a bordo de aeronaves ou espaçonaves. Os sensores trabalham em conjunto com equipamentos de transmissão e processamento de dados e tem por objetivo estudar o ambiente da Terra por meio de análises das interações entre energia eletromagnética e os elementos da superfície terrestre. Este sistema sensor é capaz de transformar formas de energia. No caso do sensoriamento remoto essa energia é a radiação eletromagnética. Ele a transforma em um sinal passível de ser convertido em informação sobre o ambiente (MENDES, 1990, p. 8). Na figura 8 é possível visualizar a estruturação deste processo.

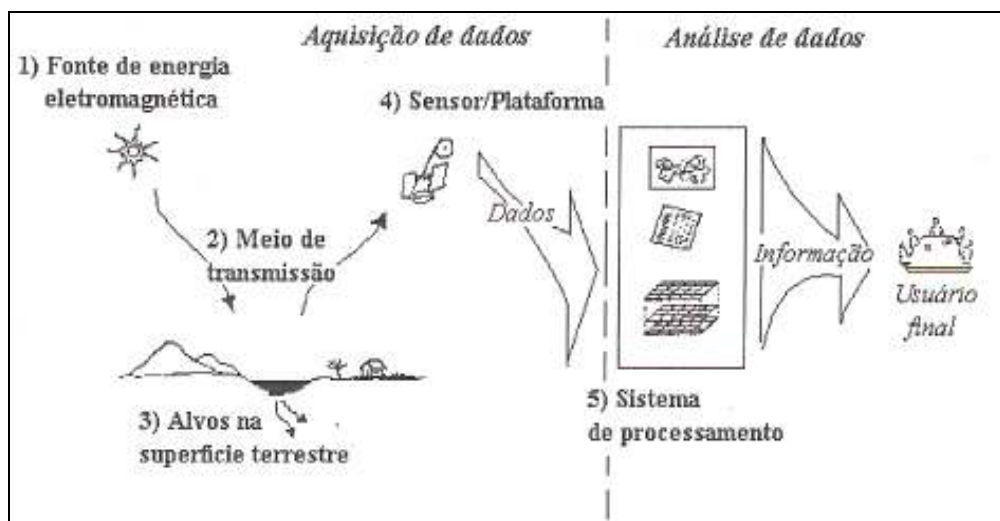


Figura 8: sensoriamento remoto: representação (MENDES; CIRILO, 2001)

Pina et al. (2000, p. 71) explicam que todo o material que está sobre a superfície da terra, constantemente reflete e emite radiação eletromagnética. As imagens capturadas por sensores são registros de respostas em faixas de frequência bem definidas do espectro eletromagnético. Alvos específicos possuem diferentes composições químicas, logo emitem radiações específicas, caracterizando o que normalmente se conhece como assinaturas espectrais. Os alvos mais importantes em análises de condicionantes da superfície terrestre são os seguintes: Solo, vegetação e água.

As imagens de sensores a bordo de satélites são capturadas por rastreamento da superfície terrestre. Nelas estão contidas informações da composição dos alvos terrestres. Este tipo de imagem possui uma composição multiespectral, isto é, uma mesma cena é reproduzida simultaneamente em diversas bandas do espectro eletromagnético. Como forma de avaliação de recursos naturais pode-se contar com imagens provindas de diferentes satélites. Dentre as técnicas disponíveis para a obtenção de imagens, a mais conhecida é a da utilização de sensores passivos instalados nos satélites das séries Landsat. Estes satélites são utilizados com bastante frequência, no Brasil, em trabalhos de coletas de dados de recursos naturais. (MOREIRA, 2003, p. 166).

Desde 1972, os satélites Landsat, antes chamados de Earth Resources Technology Satellite – ERTS –, coletaram milhares de imagens digitais. Os satélites Landsat se encontram em órbita com uma altitude de 75 km, com passagem pelo menos a cada 16 dias. Eles cobrem uma área de 185 km² em cada cena. Os satélites Landsat-4, 5, 6 e 7 utilizam o sensor chamado TM para registrar a radiação refletida ou emitida pelos alvos. Este sensor opera em sete bandas

espectrais diferentes, sendo que três delas estão dentro da região do visível, outras três na região do infravermelho e uma na região termal. A resolução espacial do sensor que opera nas regiões do visível e infravermelho refletido é de 30 m e a do sensor na região termal é de 120m. No Landsat-7 foi adicionado um detector que opera em uma banda pancromática que possui uma resolução espacial de 15m. Atualmente, estão em operação os satélites Landsat 5 e 7 (MOREIRA, 2003, p. 172).

Por definição, uma banda constitui um nível de uma imagem multiespectral, representando valores numéricos para um intervalo específico do espectro eletromagnético. É por meio da composição correta das bandas que o analista poderá classificar em uma imagem as áreas de cobertura vegetação e os tipos de vegetação, as áreas de solo e seu uso, bem como as áreas com presença de água (PINA, 2000, p.72). A aplicabilidade das bandas está descrita na figura 9.

BANDA	FAIXA ESPECTRAL (nm)	APLICAÇÕES
1 azul	0,45 - 0,52	Adequada para o mapeamento de águas costeiras, para análises de uso da terra e características de vegetação
2 verde	0,52 - 0,60	Reflectância de vegetação verde sadia
3 vermelho	0,63 - 0,69	Uma das mais importantes bandas para discriminação de espécies vegetais. Isso se deve ao fenômeno de absorção da luz vermelha pela clorofila presente nas plantas
4 infravermelho próximo	0,76 - 0,90	Deteção de biomassa da vegetação, identificação de culturas agrícolas, delineamento de corpos de água
5 infravermelho médio	1,55 - 1,75	Medidas de umidade da vegetação, diferenciação entre nuvens e neve
6 infravermelho termal	10,4 - 12,5	Útil ao mapeamento de estresse térmico em plantas e em outros mapeamentos térmicos
7 infravermelho médio	2,08 - 2,35	Diferenciação de formações rochosas geológicas

Figura 9: aplicação de bandas de um sensor orbital TM (PINA et al., 2000)

É por meio da composição de imagens com as bandas correspondentes a melhor visualização das características ambientais, que se podem verificar as condicionantes do terreno. Para tanto, é necessário informar ao SIG utilizado, que característica terrestre representa cada *pixel* da imagem. Este processo de interpretação e classificação da imagem é feito através de amostras. O profissional responsável pela interpretação da imagem identifica as células que

ele reconhece como sendo solo, água, vegetação, ou até mesmo outras condicionantes importantes para o trabalho que se deseja. O SIG, por sua vez, através de algoritmos estatísticos e reconhecimento de padrões espectrais, processa essa classificação e a estende para o restante das células que não foram amostradas. Em outras palavras, esse processo procura rotular cada *pixel* da imagem segundo classes definidas pelo profissional. Todo o tipo de classificação possui regras de decisão para que o intérprete associe determinado pixel a determinada característica (MOREIRA, 2003, p. 281).

As classificações podem ser de duas formas: supervisionada e não supervisionada. A classificação supervisionada é o processo nos quais as amostras de identidade conhecida são utilizadas para classificar *pixels* de identidade desconhecida. Essas amostras são informadas pelo decisor. A classificação não supervisionada usa propriedades estatísticas dos dados da imagem, os *pixels*, para estabelecer as fronteiras entre os conjuntos de dados que se agrupam naturalmente (PILAR, 2003, p. 73). Um exemplo desse tipo de classificação é demonstrado na figura 10.

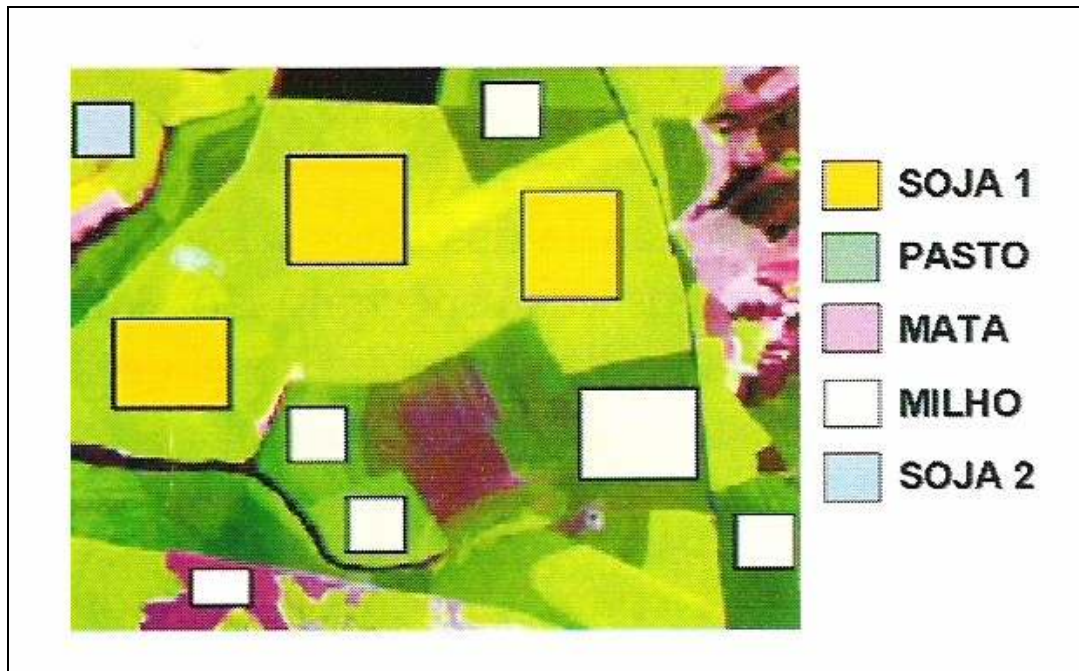


Figura 10: aquisição de amostras (MOREIRA, 2003)

Outro tipo de dado obtido digitalmente é por meio da fotografia aérea. A obtenção dessa imagem é feita instantaneamente. Sua aquisição é feita por um sensor a bordo de uma aeronave e tem por objetivo de capturar a cobertura da localidade por meio de superposição

de fotos sucessivas (Pina et al., 2000, p. 80). A figura 11 demonstra como é feita a aquisição de fotografias aéreas.

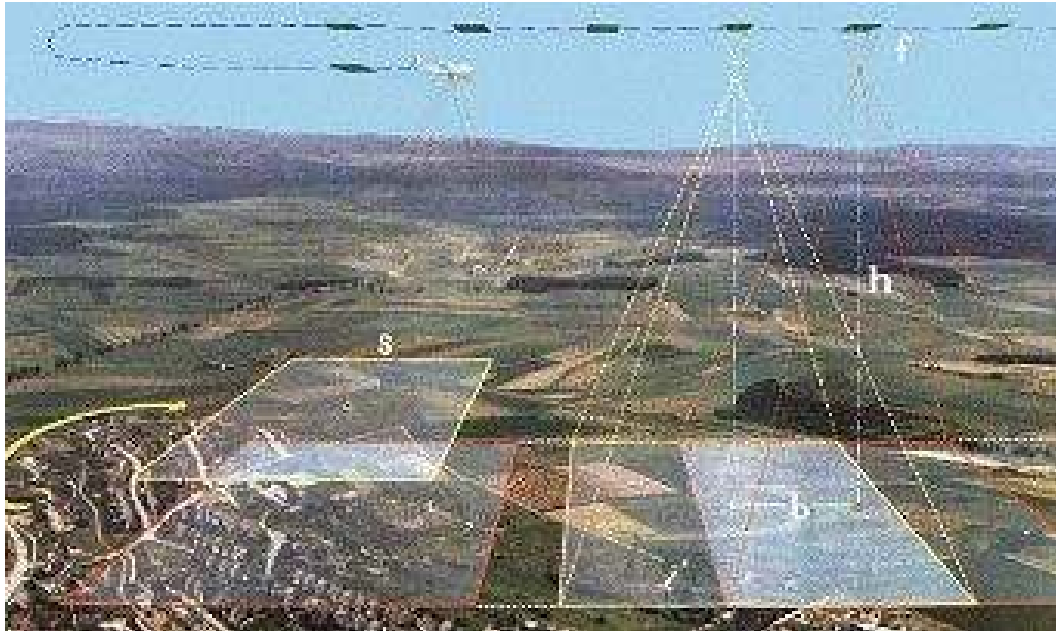


Figura 11: obtenção de fotografias aéreas (PINA et al. 2000)

3.3.3 Interpolação de Dados

Mendes e Cirilo (2001, p. 238) indicam que uma forma interessante de se obter dados passíveis de geoprocessamento é através da interpolação. Um vetor composto por dados pontuais permite que se tenha informação mais precisa sobre determinada região de interesse em locais que não foram amostrados. Por muitas vezes os dados que se tem para trabalhar são oriundos em pontos isolados (amostras) das características do espaço geográfico. A interpolação caracteriza-se, portanto, em estimativas de valores em um local não amostrado dentro desse espaço de estudo. A figura 12 mostra um exemplo de dados pontuais obtidos através de um levantamento em campo, as coordenadas X, Y e Z respectivamente. Através da interpolação pode-se gerar uma quantidade de pontos para os locais os quais não foram adquiridos valores. A figura 13 apresenta esse procedimento.

Arquivo: Data.XYZ		
X	Y	Z
7	39	115
17	17	123
25	65	138
46	36	127
52	14	97
55	56	86
58	24	156
63	8	167
64	34	145

Figura 12: exemplos de dados pontuais de levantamentos de campo (MENDES; CIRILO, 2001)

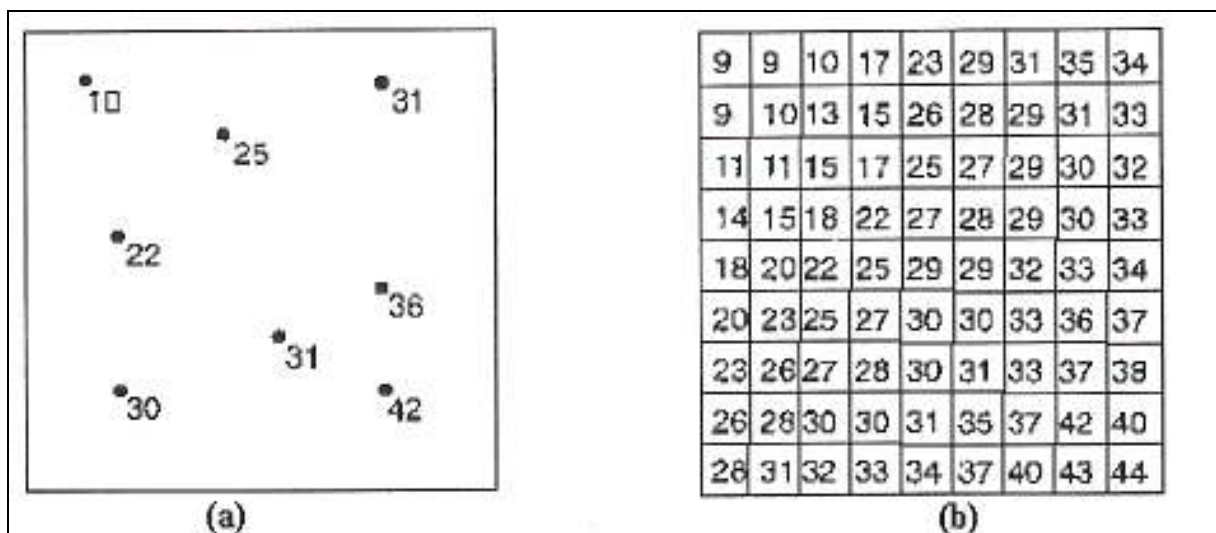


Figura 13: procedimentos de interpolação. a) dados pontuais e b) malha interpolada (MENDES; CIRILO, 2001)

Câmara e Monteiro (2006, p. 27) definem a malha triangular – TIN – como sendo uma das representações mais utilizadas para interpolação de pontos amostrais. É uma estrutura vetorial que representa a superfície por meio de um conjunto de faces triangulares interligadas. Em cada um dos vértices desses triângulos são armazenadas as coordenadas X, Y e Z. Por compreender melhor a complexidade do terreno sem a necessidade de grande quantidade de dados, as malhas são melhores para representar a variação da superfície em análise. A figura 14 mostra essa malha confeccionada por dados amostrais.

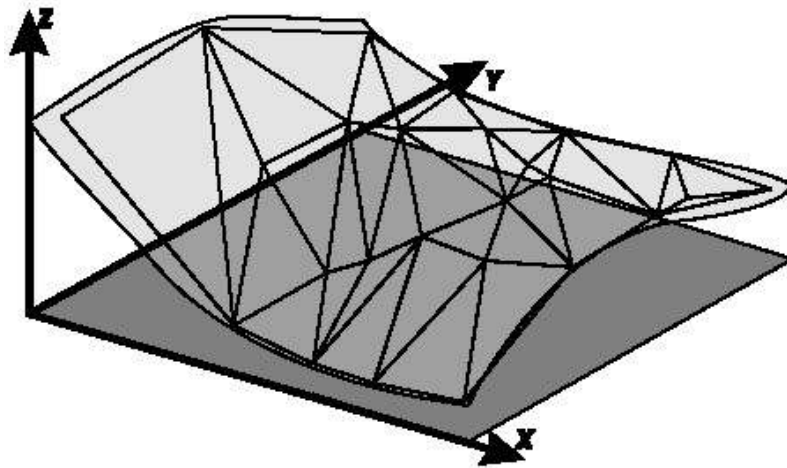


Figura 14: superfície e malha triangular (FELGUEIRAS; CÂMARA, 2006)

Loch e Cordini (2000, p. 170) classificam as malhas como sendo de primeira, segunda ou terceira ordem. São chamadas de primeira ordem ou alta precisão as que possuem triângulos de grande extensão tendo seus vértices em locais bem definidos e comprimentos que variam entre 30 e 70 km ou mais. As malhas de segunda ordem ou de precisão são assim denominadas, pois são geradas a partir de novos vértices no interior de cada triângulo de primeira ordem estabelecendo uma nova rede geodésica. As malhas de segunda ordem têm seus triângulos com lados compreendidos entre 10 e 20 km de comprimento. Malhas de terceira ordem ou rede topográfica de precisão são triângulos cujos lados medem entre 5 e 10 km.

3.3.4 Dados de Campo

As idas a campo são imprescindíveis em procedimentos tradicionais de aquisição de dados geográficos. Estes procedimentos consistem em uma série de medições de vários tipos na superfície do terreno. Como resultado desse trabalho se obtém informações pontuais, lineares e na forma de polígonos. As aquisições desse tipo podem depender do trabalho de várias equipes de campo, demandando assim, um tempo bastante considerável nos cronogramas das equipes (MENDES; CIRILO, 2001, p. 266).

Para se realizar levantamentos topográficos convencionais *in loco*, é possível contar com técnicas de levantamento expedito. Elas consistem em operações rápidas, mas de precisão

grosseira. Estas informações irão servir apenas para o planejamento do levantamento regular a ser efetivamente realizado posteriormente. Para se obter dados confiáveis, os usos de teodolito e de trena são os mais utilizados pelos topógrafos. Os trabalhos de campo com o auxílio dessas ferramentas tem por objetivo, medir as distâncias horizontais (trena) e os ângulos horizontais (teodolito) (LOCH; CORDINI, 2000, p. 55).

Uma das formas facilitadoras dos processos de obtenção de dados no campo é o *Global Position System* – GPS –. Ele determina a posição precisa de um ponto por meio de sua distância até um conjunto de pelo menos quatro satélites. A distância é estabelecida ao se calcular o tempo de viagem do sinal de rádio emitido pelo satélite até seu receptor (PINA et al., 2000, p. 68).

O sistema GPS consiste em um conjunto de estações fixas na superfície terrestre, satélites artificiais em órbita e estações receptoras móveis, estes últimos, chamados de usuários. Atualmente, os segmentos espaciais formado pela constelação de satélites, possuem 24 satélites em operação com mais três de reserva (LOCH; CORDINI, 2000, p. 186).

3.4 ANÁLISE DE DADOS

Através do geoprocessamento de dados é possível adquirir subsídios para responder e solucionar muitos dos problemas relacionados à dúvidas sobre as condicionantes nos mais diversos projetos de Engenharia. Isto é feito por meio de manipulação de informações existentes nos banco de dados construído em um ambiente computacional. O geoprocessamento permite obter uma grande quantidade de elementos distintos, de maneira a gerar conjuntos de dados compatíveis e combinados de uma forma que represente os resultados sobre um mapa. A sua utilidade está na capacidade de criar modelos a partir da base de dados e simular o efeito de um processo específico, no tempo, para um cenário exclusivo (MENDES; CIRILO, 2001, p. 284). Santos et al. (2000, p. 20) descrevem as técnicas de análise de dados provindos de geoprocessamento em diferentes níveis de complexidade, conforme a figura 15.

TÉCNICA	DESCRIÇÃO
Pontos num polígono	Identifica a interseção entre pontos e área (polígono) em que eles estão.
Linhas num polígono	Identifica a interseção entre pontos e área (polígono) em que elas cruzam.
Área de influência	Construção de zonas de largura especificada ao redor de pontos, linhas ou áreas.
Interpolação	Estimação de condições em locais não amostrados.
Estimação de proximidade	Análise de condições em determinado ponto, baseada em condições de uma vizinhança especificada.
Alisamento	Construção de uma superfície alisada (generalizada).
Sobreposição	Combinação de um mapa com outro por sobreposição.

Figura 15: técnica de análise espacial (SANTOS et al., 2000)

Santos et al. (2000, p. 20) explicam que empregando essas técnicas, diversas avaliações podem ser feitas em um ambiente computacional, buscando responder algumas importantes questões para o planejamento de empreendimentos. Algumas dessas formas serão detalhadas a seguir.

3.4.1 Sistemas de Informações Geográficas – SIG –

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), podem ser considerados modelos digitais do ambiente. Eles permitem avaliar o meio com uma precisão adequada e com economia no que diz respeito à coleta e reorganização de dados. A interface entre a mente dos pesquisadores e os dados abundantes, juntamente com a capacidade do sistema de reorganização, faz do SIG uma poderosa ferramenta para investigações do ambiente (SILVA, 2001, p. 44).

Conforme definição de Câmara e Queiroz (2006, p. 1) o termo SIG é aplicado a sistemas que tratam dados geográficos em ambiente computacional e recuperam informações não apenas em suas características alfanuméricas, mas também por meio de sua localização espacial. Este ambiente fornece a seu usuário uma inédita visão de seu ambiente de trabalho, onde os

elementos de um determinado assunto estão a seu alcance de forma interrelacionada geograficamente.

Santos et al. (2000, p. 17) avalia como objetivos principais de um SIG os tópicos a seguir:

- a) visualização das informações: o sistema possibilita muitas formas de apresentação das informações, integrando mapas, gráficos, imagens para as mais diversas áreas, como mostra a figura 16;
- b) organização e georreferenciamento dos dados: o SIG é um poderoso organizador das informações georreferenciadas;
- c) integração de dados vindos de diversas fontes: o mapa armazenado em um SIG pode ser constantemente associado a outras informações, provindas das mais diversas fontes;
- d) análise de dados: o sistema conta com inúmeras funções que permitem transformar os dados em informações úteis para a tomada de decisões;
- e) predição de ocorrências: prevê as ocorrências de um fenômeno por meio de análises de séries históricas;

Segundo Câmara e Queiroz (2006, p. 2) levando-se em conta uma visão mais abrangente pode-se dizer que um SIG possui alguns componentes que se relacionam de forma hierárquica. O modo como se dá a interface com o usuário define como o sistema é operado e controlado. Este ambiente deve possuir também mecanismos de processamento de dados espaciais bem como um sistema de gerência de banco de dados geográficos com possibilidade de armazenar e recuperar os dados e seus atributos. A figura 16 indica os principais relacionamentos existentes. Todos os subsistemas apresentados devem estar presentes em um SIG.

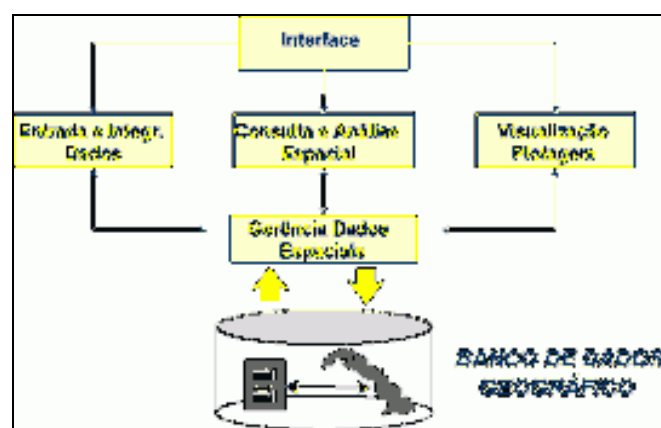


Figura 16: estrutura geral de um SIG (CÂMARA; QUEIROZ, 2006)

3.4.2 Modelagem Numérica de Terreno – MNT –

O aparecimento do geoprocessamento como ferramenta de gerenciamento de dados da superfície terrestre, instigou os pesquisadores a aprofundar as discussões sobre necessidade de descrição e utilização numérica do terreno através de modelos. Segundo Mendes e Cirilo (2001, p. 341). a modelagem numérica de terreno é usada para representar quantitativamente uma grandeza que varia continuamente no espaço. Informações de declividade e relevo, informações meteorológicas e dados geofísicos são exemplos típicos de fenômenos que um MNT pode representar.

Felgueiras e Câmara (2006, p. 1) afirmam que para se gerar mapas temáticos que representem a superfície real do terreno em um ambiente computacional é indispensável à elaboração e criação de modelos digitais. Eles podem ser representados por equações analíticas ou por uma rede de pontos. Esse processo pode ser dividido em uma etapa de aquisição das amostras e outra que consiste na geração do modelo propriamente dito. A amostragem consiste na aquisição de pontos representativos de um determinado fenômeno de interesse. No caso da modelagem numérica de terreno, esses pontos são geralmente valores constituintes de curvas de nível ou pontos tridimensionais como demonstra a figura 17.



Figura 17: exemplo de mapa de curvas de nível (FELGUEIRAS; CÂMARA, 2006)

A geração de modelos pode ser feita também através de interpolação de dados. O processo de interpolação envolve a geração de estruturas de dados e a definição de superfícies de ajuste. Essa forma tem por objetivo gerar uma representação contínua de um determinado fenômeno a partir de amostras. Uma das estruturas de dados mais utilizadas em um SIG é a malha triangular, conforme mostra a figura 18 (NAMIKAWA et al., 2003, p. 90).

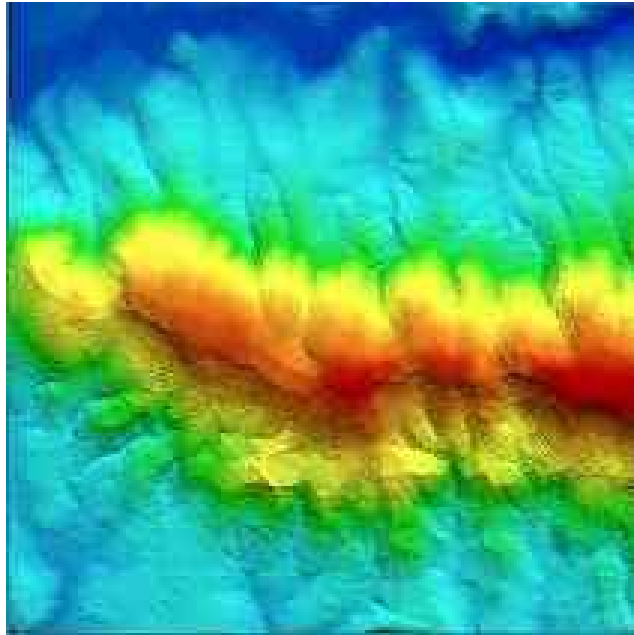


Figura 18: representação visual de um MNT
(ESTEIO ENGENHARIA E AEROLEVANTAMENTOS)

Segundo Burrough (1986, p. 39) esses modelos podem ser utilizados para diversos fins, sempre se levando em conta o tipo de informação adquirida e a forma de processamento dos dados para a geração dos modelos.

4 MÉTODO MULTICRITÉRIO PARA APOIO A DECISÃO

Para auxiliar os processos decisórios no planejamento e na implementação de traçados ambientalmente favoráveis, o projetista pode contar com inúmeros métodos de avaliação de condicionantes. Esses profissionais são responsáveis pelo andamento das ações e, conseqüentemente, acabam assumindo os riscos competentes as decisões tomadas ao longo do processo decisório. Os Sistemas de Apoio à Decisão foram criados com o intuito de tratar as questões de avaliação de um determinado ambiente. Este sistema tem como finalidade investigar um número de alternativas, sob múltiplos critérios e objetivos em conflito, com a função de se obter o melhor desempenho ou o melhor acordo entre as expectativas do avaliador e suas disponibilidades em adotá-las. Essa alternativa é chamada de multicritério (SOUZA, 1999, p. 34).

Em uma avaliação multicritério é necessário estabelecer qual o objetivo da análise. Segundo Fitz (2008, p. 37) as técnicas mais utilizadas na prática para estabelecer os objetivos requerem que seus tomadores de decisão se pronunciem a priori sobre suas preferências. Uma série de condicionantes direciona os procedimentos para a tomada de decisão e esse indicativo está votado para a escala de valores dos responsáveis por essa decisão. Para realizar essa tarefa é necessária a existência de um decisor (indivíduo ou grupo de indivíduos) responsável pelo processo decisório. Estes são chamados de **atores do processo decisório**. São eles que avaliam os objetivos, metas, valores, bem como as ações, opções e alternativas para a resolução do problema proposto.

O método Análise Hierárquica – MAH – é uma dessas técnicas de apoio à decisão. Ele foi desenvolvido na década de 70 por Thomas L. Saaty, da Universidade da Pensilvânia. O Método Analítico Hierárquico é uma metodologia flexível e poderosa de tomada de decisão que auxilia na definição de prioridades e na escolha da melhor alternativa, quando aspectos qualitativos e quantitativos devem ser considerados. O MAH tem como preocupação central à obtenção de pesos numéricos para alternativas com relação a determinados objetivos. Primeiramente, é necessário que os decisores selecionem os critérios e alternativas relevantes para o estudo do problema e os estruturarem de forma hierárquica. Uma hierarquia deve ser um modelo confiável de uma situação real. Ela representa a análise dos elementos mais

importantes na situação e as suas relações. Segundo Teixeira (2006, p. 119) o primeiro nível da estrutura hierárquica corresponde ao objetivo, o segundo avalia os critérios e o terceiro às alternativas.

Uma vez que o modelo hierárquico tenha sido estruturado para o problema que se deseja resolver, os tomadores de decisão envolvidos providenciarão comparações em forma de pares para cada nível de hierarquia, a fim de, com isso, obter o peso de cada elemento no nível desejado. Mediante a comparação par a par da atratividade das alternativas, são atribuídos os pesos aos critérios: dadas duas alternativas, o tomador de decisão deve dizer qual a menos atrativa (deve receber a maior nota) e a mais atrativa (menor nota) (PILAR, 2003, p. 38).

Em empreendimentos lineares podemos avaliar os impactos ambientais como sendo um desses problemas de avaliação multicritério. Com relação à hierarquização dos pesos primeiramente, devem-se então avaliar as condicionantes territoriais que compreende o empreendimento. Tanto em linhas de transmissão e como em rodovias, a avaliação dessas condicionantes é estimada de forma muito semelhante. A escolha do caminho perfeito, em princípio, seria o mais curto entre dois pontos, isto é, uma linha reta. Contudo, se sobre o plano que gera o traçado estiver sobrepostos outros planos representando atritos, como, por exemplo, o uso do solo ou presença de corpos de água, possivelmente o caminho mais curto não será uma linha reta (PILAR, 2003, P.18).

Existem vários softwares SIG que executam o procedimento de hierarquização, ponderação de atributos e desenho de alternativas de caminhos considerando esses critérios. O software IDRISI 15.0, por exemplo, possui uma rotina para tal tarefa. Nele a avaliação multicritério chama-se *Multi-Criteria Evaluation* – MCE –. Em uma avaliação MCE, uma tentativa é fazer uma combinação dos critérios fornecidos pelo decisor como forma de se obter uma única base para a tomada de decisão.

Como forma de ponderar os dados contidos nos planos de informações para a avaliação multicritério, utilizam-se critério de restrições ambientais que serão detalhados no capítulo seguinte.

5 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS EM EMPREENDIMENTOS LINEARES

Para avaliar as condicionantes geográficas do local de um empreendimento linear é necessário que os profissionais envolvidos no projeto tenham dados da região que contemplará o empreendimento. Esse tipo de obra atravessa frequentemente regiões com características bem distintas em termos de relevo, vegetação e geologia. O estudo da viabilidade do empreendimento precisa considerar essas características locais, pois, através disso são confeccionadas alternativas de traçado que levam em conta os custos chamados diretos, isto é, os de construção e os chamados indiretos, como por exemplo, os relacionados a desapropriações, reassentamentos e impactos ambientais na implantação da faixa de domínio (KOCHEN, 2006, p. 80).

Os profissionais tomam como base para as definições dos impactos ambientais o artigo n. 1 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA – (BRASIL, 1986), que considera como sendo impacto ambiental, as mudanças de propriedades físicas, químicas e biológicas no meio ambiente que tenha como agente causador qualquer matéria ou energia resultante direta ou indiretamente de atividades humanas.

Para que se possam avaliar corretamente todas essas perturbações que um empreendimento desse porte causará na região é necessário que se tenha a liberação dos órgãos regulamentadores. A Resolução n. 237 do CONAMA que altera alguns itens do artigo n. 1 já citado, informa que estão sujeitos a licenciamento ambiental as atividades como estradas de rodagem, ferrovias, linhas transmissão de energia elétrica para linhas acima de 230 kV, oleodutos, gasodutos, dentre outros. Ela define também como sendo licenciamento ambiental um processo administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a locação, instalação, ampliação e operação de empreendimentos potencialmente poluidores ou que possam causar degradação ambiental (BRASIL, 1997).

No estado do Rio Grande do Sul, quem fornece e fiscaliza as licenças é a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – FEPAM – em conjunto com a Secretaria

Estadual do Meio Ambiente – SEMA –. O ato de licenciamento deve ser precedido de um estudo de impacto ambiental – EIA – e um relatório de impacto ambiental – RIMA –.

Segundo o CONAMA (BRASIL, 1986), o EIA deverá desenvolver, no mínimo, as seguintes atividades técnicas:

- a) diagnóstico ambiental da área de influência do projeto de modo a caracterizar a situação ambiental da área, antes da implantação, considerando:
 - o meio físico – o subsolo, as águas, o ar e o clima, os recursos minerais, a topografia, os tipos de solo, os corpos d'água, etc;
 - o meio biológico – fauna, flora, espécies indicadoras da qualidade ambiental, raras e ameaçadas de extinção bem como áreas de preservação permanente – APPs – ;
 - O meio sócio-econômico – o uso e ocupação do solo e das águas, sítios e monumentos arqueológicos, dentre outros;
- b) análise dos impactos e suas alternativas, através de identificação, previsão e interpretação dos prováveis impactos discriminando-os em negativos e positivos, diretos e indiretos, imediatos e a médio e longo prazos e se temporários ou permanentes;
- c) definição das medidas mitigadoras dos impactos negativos;
- d) elaboração do programa de acompanhamento e monitoramento dos impactos;

Teixeira (2006, p. 89) afirma que grande quantidade de métodos e técnicas de avaliação empregados em estudos de impactos ambientais de empreendimentos potencialmente impactantes, ora são apresentados de forma genérica ora de forma específica para uma determinada região. Muitos autores e algumas organizações consideram que grande parte dos EIAs, carecem de técnicas mais adequadas. Estas questões são constantemente vistas em obras de empreendimentos lineares, pois, não existe exatamente um documento que avalie o que são os impactos ambientais e como pode-se quantificar os mais significativos para esse tipo de obra. O que se procura fazer é contar com as leis ambientais vigentes que indicam as melhores opções e com equipes bem preparadas, isto é, profissionais com um certo tipo de experiência em empreendimentos desse tipo.

Macedo (1995, p.14) afirma que, ao se analisar diversos trabalhos, percebe-se que não existe uma abordagem teórico-conceitual consagrada que seja capaz de realizar os estudos e relatórios de impactos para empreendimentos de qualquer natureza ou mesmo de avaliar quaisquer processos de alteração no meio ambiente. Os órgãos ambientais responsáveis pela

avaliação dos EIAs e RIMAs consideram as técnicas como sendo instrumentos de apoio à realização cuja a utilização deve sempre estar inserida no corpo do método adotado.

A composição de um relatório bem estruturado ajuda bastante em processos de avaliação de impactos e, posteriormente, auxilia os processos de tomadas de decisão. O RIMA, portanto, deve apresentar os objetivos e justificativas do projeto, como também a descrição dos prováveis impactos contemplando todas as informações que foram adquiridas na fase do estudo (BRASIL, 1986).

Stamm (2003, p. 165) afirma que como forma de avaliar os impactos ambientais, os profissionais dispõem de diferentes métodos, que analisam os meios e os impactos separadamente com o objetivo de atender as legislações vigentes. Nenhum dos métodos conhecidos hierarquiza os impactos de uma maneira geral. Essa escolha de metodologia depende do tipo e porte do empreendimento, da natureza dos possíveis impactos, dos recursos disponíveis e principalmente dos procedimentos administrativos do órgão ambiental. Na maioria das vezes, como em projetos lineares, a equipe de profissionais é multidisciplinar, eles escolhem a melhor maneira de se classificar os impactos.

Para que se realize a adequada avaliação dos impactos ambientais, é indispensável a sua prévia identificação. Teixeira (2006, p. 92) compilou as principais características e as posições de autores sobre cada um dos procedimentos de identificação e avaliação de impactos. A identificação dos impactos ambientais considera as seguintes variáveis:

- a) desconhecimento sobre a variação das condições ambientais;
- b) desconhecimento sobre as ações que realmente irão ocorrer no momento da execução;
- c) necessidade de um grupo de especialistas;
- d) dificuldade de estabelecer os critérios de julgamento dos especialistas;
- e) emprego de julgamentos objetivos mesclados com julgamentos subjetivos.

No que diz respeito à avaliação deve-se procurar:

- a) abranger todas as alternativas, critérios e pontos de vista sobre o empreendimento e as condições ambientais na localidade;
- b) construir uma alternativa simples, precisa e atrativa em termos e custos;
- c) explicar os critérios e ponderações adotados;
- d) permitir a máxima utilização de dados já existentes;

- e) Refletir todas as mudanças dos fatores ambientais com e sem o empreendimento;

As dificuldades identificadas na elaboração dos estudos se devem, principalmente, à falta de conhecimento técnico-científico essenciais à avaliação do impacto, por parte dos órgãos de meio ambiente e por parte das equipes multidisciplinares contratadas pelo empreendedor (TEIXEIRA, 2006, p. 96).

Mesmo com os estudo e relatórios, alguns desses impactos, os negativos, infelizmente, não são possíveis de serem mitigados. A Lei 9.985, de 18 de julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidade de Compensação da Natureza – SNUC – define que a compensação para os impactos considerados negativos seja obrigatória para empreendimentos causadores de significativo impacto ambiental. Ela obriga o empreendedor a apoiar a implantação e manutenção de unidade de conservação do grupo de proteção integral e estações ecológicas (BRASIL, 2000).

Mais recentemente, o Decreto n. 4340 de 22 de agosto de 2002, regulamentou vários artigos da Lei 9.985 e entre eles o de compensação ambiental. Essa alteração determina principalmente que o órgão ambiental licenciador fixará a compensação a partir de um grau de impacto. Para efeito de faixa de graduação de impactos, fixou-se uma faixa entre 0,5 % e 5,0 % dos custos totais previstos para a implantação do empreendimento. Como a equipe responsável pelos estudos ambientais do empreendimento possui informações dos impactos na região por meio do EIA e do RIMA, ela também pode calcular esse grau e obter o valor da compensação como forma de discutir o valor proposto pelo órgão competente (BRASIL, 2000).

Em empreendimentos lineares, os impactos ambientais a serem considerados, normalmente, são avaliados na área da faixa de domínio e nas áreas de influência direta e indireta desse empreendimento. O CONAMA (BRASIL, 1986) define como sendo áreas de influência direta – AID – aquelas na qual ocorrerão os impactos imediatos da atividade proposta, e áreas de influência indireta – AII – aquelas na qual ocorrerão os impactos mais remotos. As definições dessas áreas são estabelecidas sempre pelo grupo multidisciplinar responsável pelo EIA e o RIMA do empreendimento. Com o intuito de se estabelecer critério para a escolha do traçado menos impactante e a aprovação dos órgãos responsáveis pela concessão das licenças, a equipe pode contar com trabalhos semelhantes já realizados.

O que se procura sempre fazer é identificar os locais onde a obra causaria os menores impactos. Para tanto, o traçado deve ser ajustado de forma a evitar os cruzamentos com áreas urbanas e propriedades rurais, para evitar indenizações desnecessárias, desviar de locais que contenham vegetação nativa em especial aquelas situadas nas margens dos rios por serem áreas de preservação permanente (BELLIA; BIDONE, 1992, p. 58).

6 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho serão empregadas o uso de técnicas de geoprocessamento associadas à análise multicritério em três empreendimentos lineares distintos. Por sua similaridade nas avaliações das condicionantes para a construção de um traçado menos impactante ao meio ambiente, foram previamente escolhidas três obras lineares que já tiveram seus traçados executados: uma linha de transmissão e uma rodovia.

Os materiais utilizados para a confecção dos traçados, neste trabalho, são os mesmos para os três empreendimentos lineares. O que difere, neste aspecto, é a localização geográfica das informações de cada um.

O software utilizado para compor o ambiente computacional SIG foi o IDRISI 15.0, THE ANDES EDITION®. Este programa permitiu que todas as análises propostas neste trabalho fossem feitas sem a necessidade de outro programa computacional. Ele tem a capacidade de georreferenciar dados digitais, processar e classificar imagens e unificar informações oriundas dos mais diversos formatos.

Para alimentar o ambiente computacional, foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT. Essas imagens foram adquiridas de forma gratuita pelo *site* Global Land Cover Facility que pertence à Universidade de Maryland, nos Estados Unidos.

Também se contou com a utilização de modelos numéricos de terreno. Os modelos utilizados nesta pesquisa foram gerados pela técnica Shuttle Radar Topography Mission – SRTM – . Essa técnica foi criada pela National Aeronautics and Space Administration – NASA – com o intuito de facilitar a visualização e manuseio para os diversos setores econômicos, que por algum motivo necessitem de dados altimétricos da região brasileira. Esse processamento gerou modelos digitais de elevação que são fornecidos em formatos compatíveis para o uso em SIG's.

Para a utilização do MNT neste estudo, usaram-se os mosaicos fornecidos pelo Laboratório de Geoprocessamento da UFRGS e os disponíveis *site* da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Este modelo possui uma resolução de 90 metros, ou seja, para

cada área de 90 metros X 90 metros do território nacional, dispõe-se de uma medida altimétrica precisa.

Para que a aplicação da análise de multicritério pudesse ser aplicada neste estudo, foram escolhidas as principais condicionantes territoriais de cada empreendimento. Levaram-se em conta as leis ambientais vigentes e os estudos de relatórios de impactos ambientais de outros empreendimentos já executados como forma de auxiliar a tomada decisão. Conforme esse estudo verificou-se que com as informações a ser utilizada neste trabalho, os traçados dos dois empreendimentos dependerão de três condicionantes territoriais: o uso do solo e as declividades e pedologia.

O uso de solo será separado pelas seguintes classes: Naturais e Antrópicas. As naturais correspondem a obstáculos já existentes na superfície terrestre. Com exemplo desses obstáculos temos a mata nativa, campo, solo exposto, hidrografia, dentre outros. As classes antrópicas correspondem a obstáculo que o ser humano implantou na região. São exemplos dessas intervenções as obras viárias, malha urbana, agricultura, florestamento e pastagem.

As declividades farão parte de um segundo plano de informações, que classificarão locais de aclave e declive acentuados. Em obras lineares, esses elementos são muito importantes para implantação do traçado.

O terceiro plano de informação terá informações sobre a pedologia da região. Nele serão classificados os locais onde o solo será mais propício para a localização do traçados segundo suas características de erodibilidade e compactação.

Outra informação importante a ser considerada e que, por conseguinte, gerará um quarto plano de informação será a linearidade do traçado. No caso de linhas de transmissão e rodovias é importante a construção de um traçado com menor número de deflexões possíveis.

É importante ressaltar que, a classificação dos impactos e seus respectivos pesos para a geração dos mapas temáticos, serão definidos segundo o intervalo de 1 à 1000. As informações que forem ponderadas com valores próximos ao número 1 são as mais favoráveis, isto é, o de menor atrito. As informações que forem ponderadas com valores próximos a 1000 consistem em locais mais desfavoráveis.

6.1 ESTUDO DE UMA LINHA DE TRANSMISSÃO

Para o estudo do traçado de LT analisou-se uma linha de transmissão de 230 kV já executada, que compreende as subestações Presidente Médici e Santa Cruz I (PMED-SCR1). Ela se estende num percurso de aproximadamente 240 Km ligando estas duas distribuidoras de energia elétrica.

Primeiramente, alimentou-se o banco de dados do SIG com os pontos iniciais e finais da LT PMED – SCR1. Através dessa etapa puderam-se adquirir as imagens LANDSAT da região que envolve o empreendimento. A figura 19 mostra a área de estudo neste empreendimento.

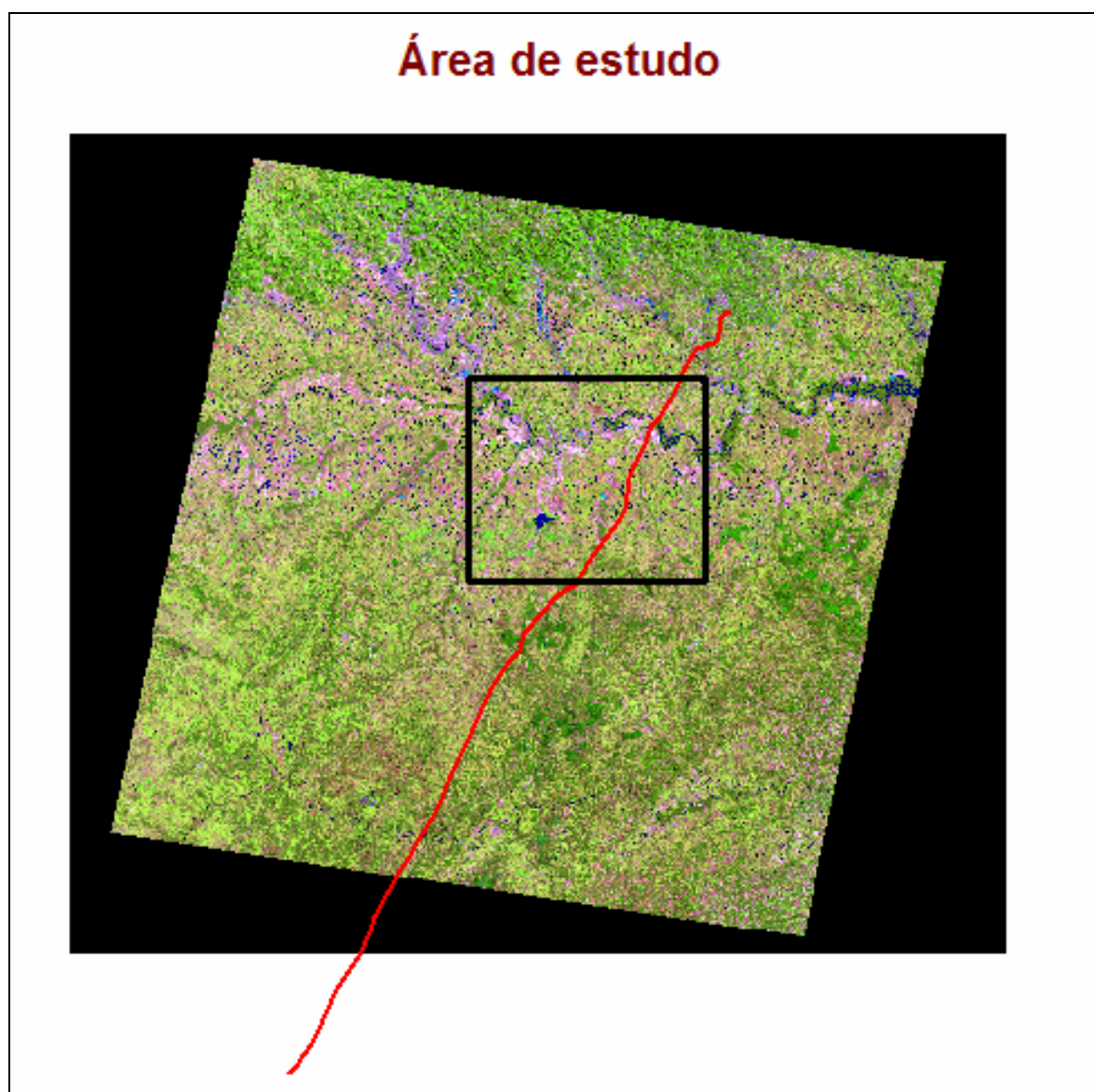


Figura 19: área de estudo LT

Para o estudo deste traçado foi utilizada uma imagem que não compreende toda a extensão da linha, mas envolve o trecho estudado. Esta imagem foi adquirida na data de 24 de setembro de 1999.

Para fazer a primeira avaliação visual do uso de solo, foi preciso inserir as imagens de satélite e fazer a composição das bandas. A figura 19 apresenta as bandas 1, 2, 3, 4 e 5.

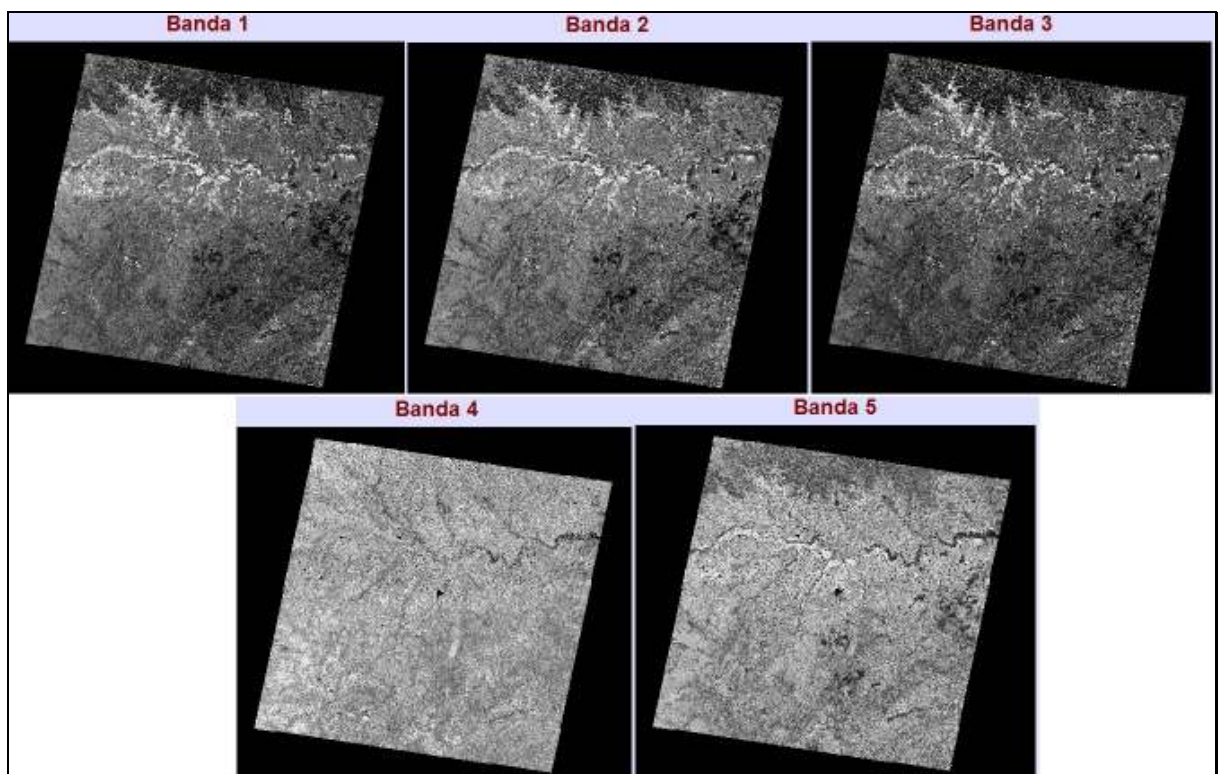


Figura 20: imagens LANDSAT separadas por bandas para LT

Através dessa composição, gerou-se um único arquivo de trabalho, conforme demonstra a figura 21.

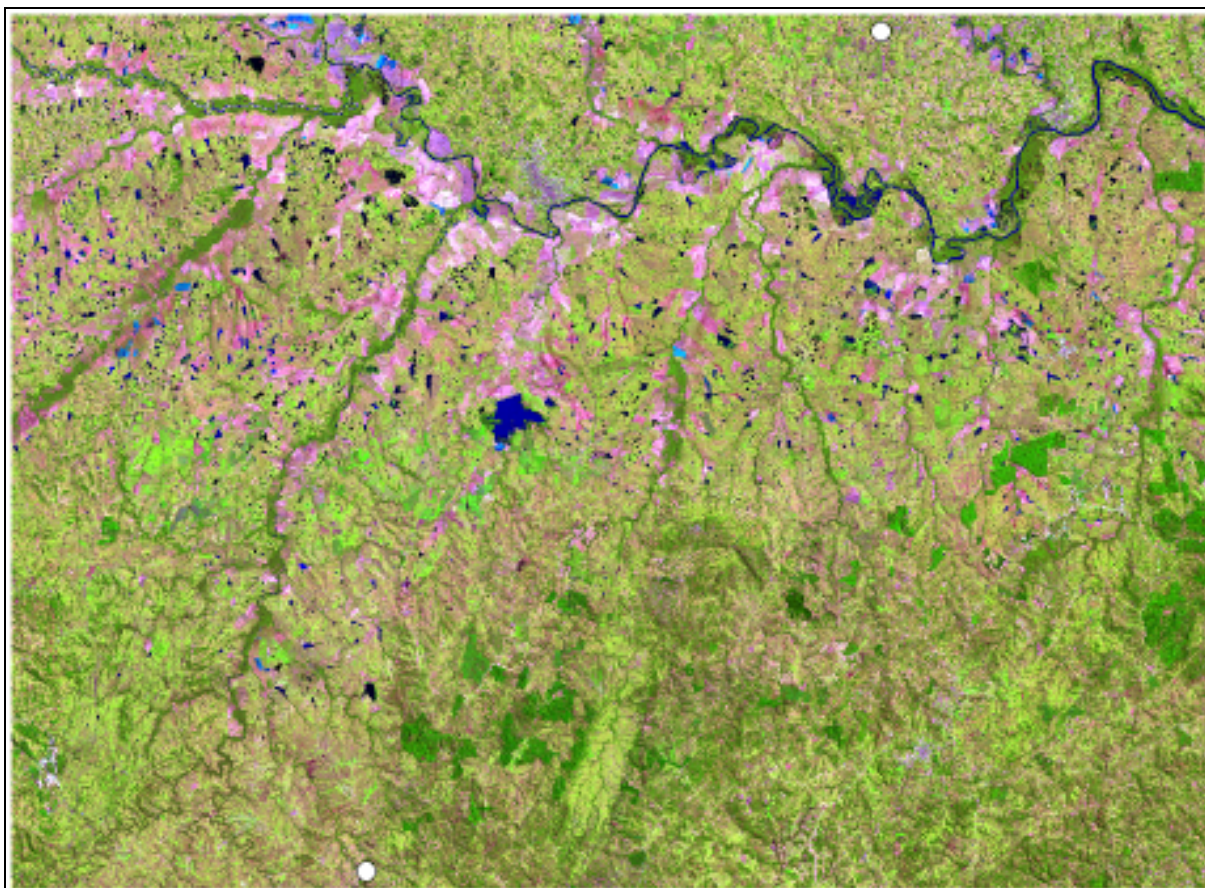


Figura 21: composição de bandas LT

Nesta composição de bandas os pontos em branco correspondem aos pontos de início e fim do traçado de estudo.

Nesta etapa é feita uma pré-classificação da imagem para a identificação dos obstáculos existentes nela. Neste trabalho optou-se pela avaliação supervisionada, pois, devido ao fato da identificação do *pixel* ser feito pelo decisor, ele se torna mais confiável que a classificação não supervisionada. A figura 22 mostra a classificação supervisionada na imagem LANDSAT que compreende a LT PMED-SCR1.

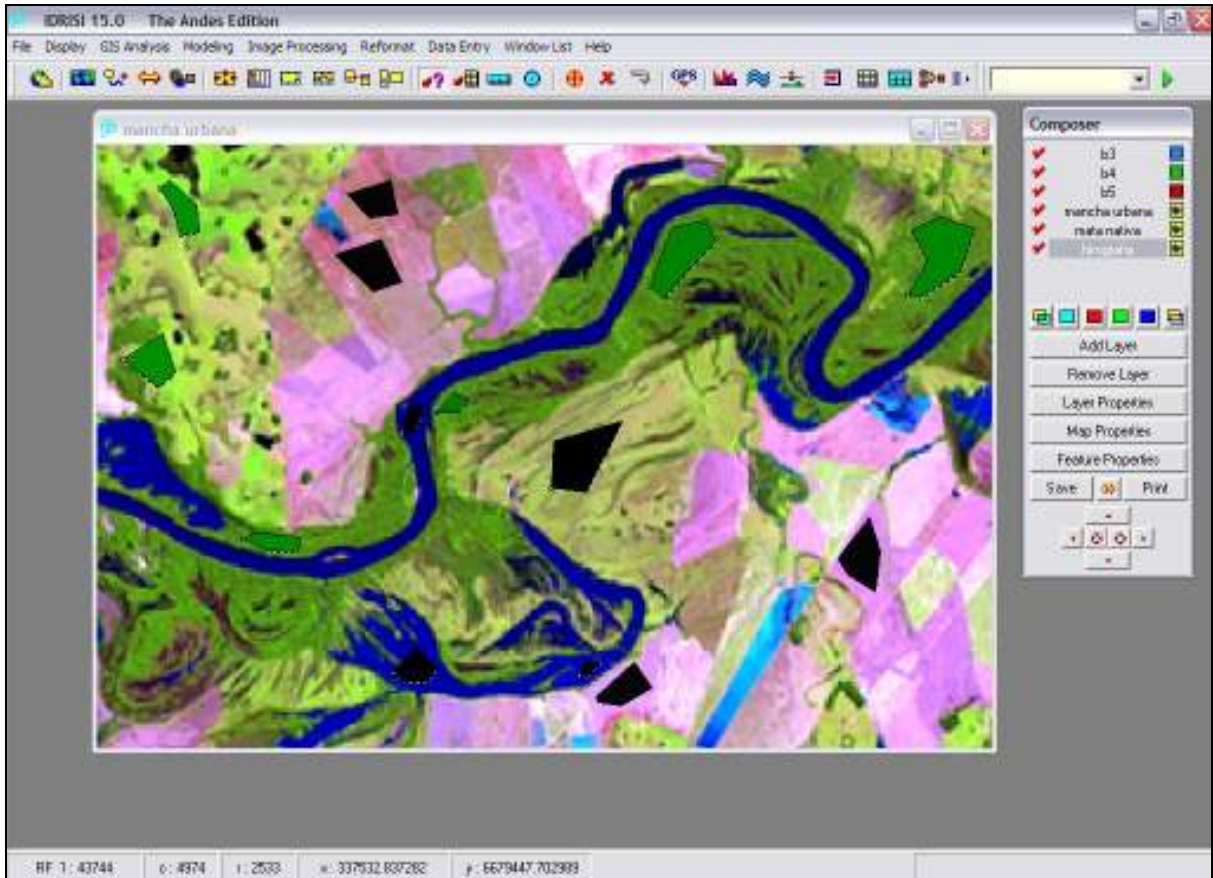


Figura 22: classificação supervisionada LT

Para a aplicação das técnicas de apoio à decisão por avaliação multicritério, é necessário construir um plano de informação contendo as condicionantes estabelecidas pelo decisor. Neste trabalho, o autor atuou como decisor e facilitador do processo multicritério, sempre levando em consideração as exigências existentes nas leis ambientais vigentes.

Dessa forma pôde-se listar alguns critérios sobre a região para a posterior ponderação dos atributos:

- a) uso do solo correspondente à sua capacidade;
- b) áreas de preservação permanente ou mata nativa;
- c) áreas destinadas a cultivo;
- d) solo exposto;
- e) cursos de água;
- f) locais de campo ou pastagens;
- g) intervenções humanas: rodovias, ferrovias, etc.

Estes atributos foram escolhidos seguindo critérios contidos em relatórios ambientais de linhas de transmissões e especificações das leis ambientais já citadas. Através deles pode-se identificar quais as implicações ambientais se essas características existentes fossem alteradas ou retiradas. Por exemplo, ao se reconhecer uma área de preservação permanente, é possível mensurar o que aconteceria com a retirada dessa vegetação original. Ao se questionar a importância relativa de cada quesito, é possível atribuir um valor que represente a importância dessa característica local.

A figura 23 mostra o plano de informação gerado para o uso do solo na região de estudo.

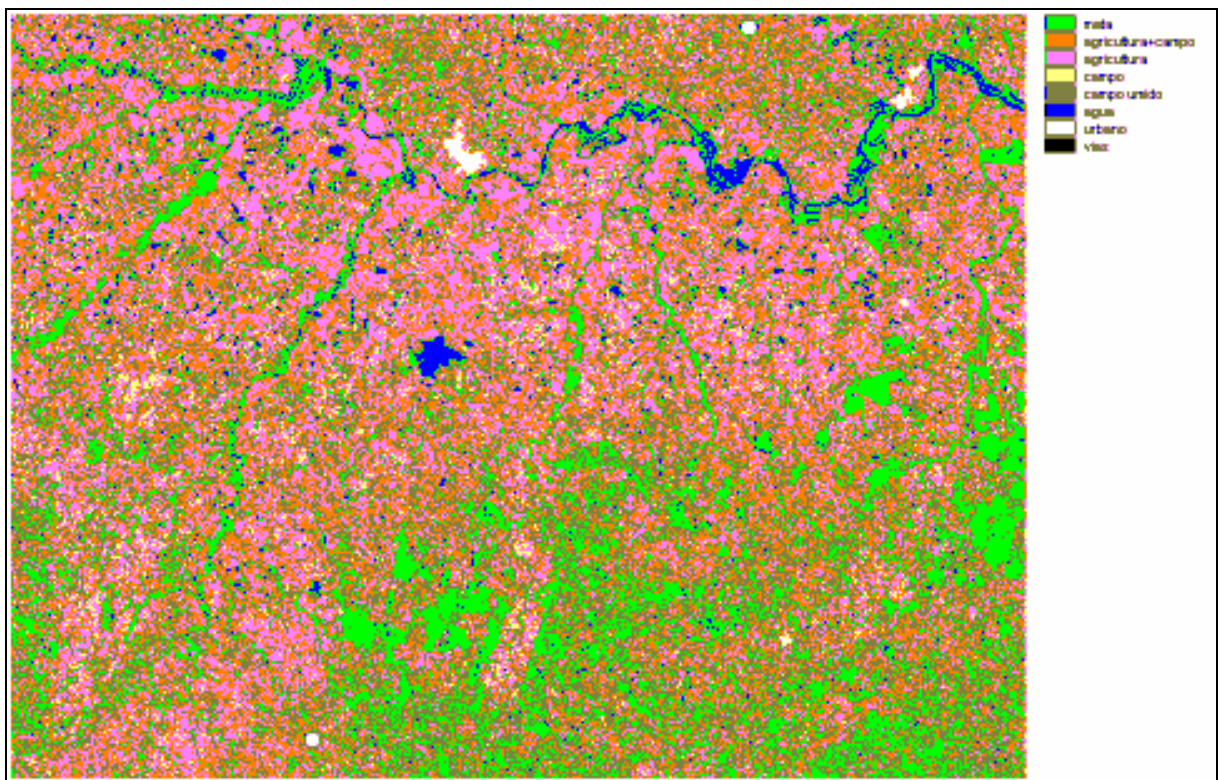


Figura 23: uso do solo LT

Os pesos para as características de uso do solo encontradas na imagem de satélite foram listados na figura 24 de acordo com os melhores e piores locais de passagem do traçado.

Uso dos Solos	
Mata	500
Agricultura + Campo	1
Agricultura	1
Campo	1
Campo úmido	10
Água	1000
Urbano	1000
Vias	1000

Figura 24: pesos do uso do solo LT

Outro plano de informação feito para a avaliação do melhor traçado em termos ambientais é o de declividade. Ele foi gerado a partir do MNT da região e através das informações altimétricas da região pode-se caracterizar os locais de maior declividade e, conseqüentemente, de maior dificuldades para a locação de torres. A figura 25 mostra o plano de informação de declividades.

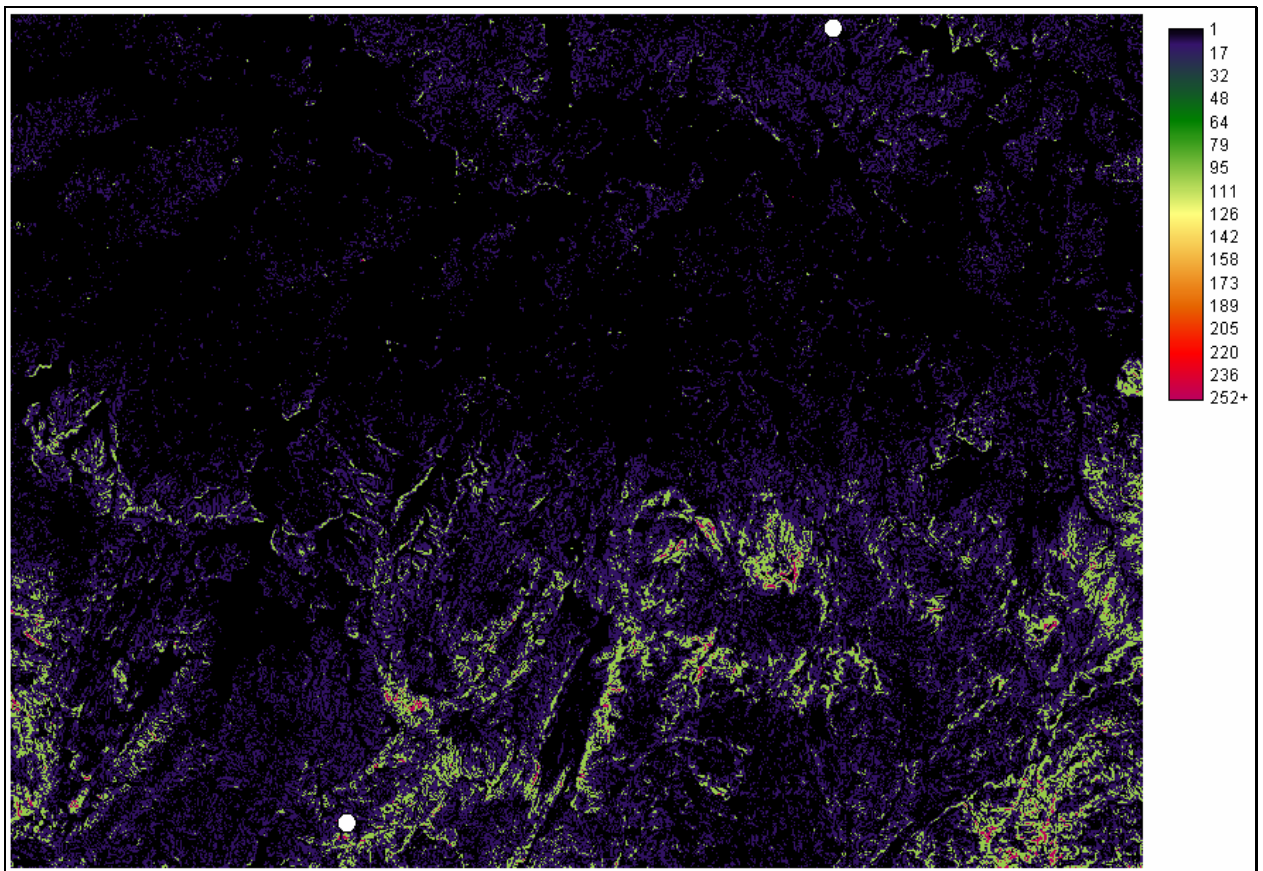


Figura 25: declividades LT

Os pesos para as características de declividades são vistos na figura 26.

Declividades		
Bom	0 - 10%	1
Intermediário	10 - 20%	100
Impróprio	20 - 100%	1000

Figura 26: peso das declividades LT

O terceiro plano de informação gerado foi o geotécnico. Ele foi confeccionado por meio de informações pedológicas da região de estudo. A figura 27 mostra este plano de informação.



Figura 27: geotécnico LT

A ponderação usada para a confecção do mapa temático geotécnico é a seguinte, apresentada na figura 28.

Pedologia	
Bom	1
Intermediário	50
Impróprio	1000

Figura 28: peso geotécnico LT

Neste tipo de empreendimento linear, é importante levar-se em conta a que quanto menor o número de deflexões do traçado, mais econômico o empreendimento se torna. Por este motivo se gerou um outro plano de informação que condiciona a geração desse traçado a uma área delimitada. Para tanto foi desenhada uma linha reta que une o ponto inicial e final e posteriormente delimitada uma área de influência de 10 Km que envolve esta linha para que o traçado gerado fique dentro desta fronteira. Esta limitação chama-se *buffer* e será utilizado para uma segunda avaliação de traçado.

A ponderação desse plano é a mesma já apresentada nos outros casos. A figura 29 mostra este plano de informação.

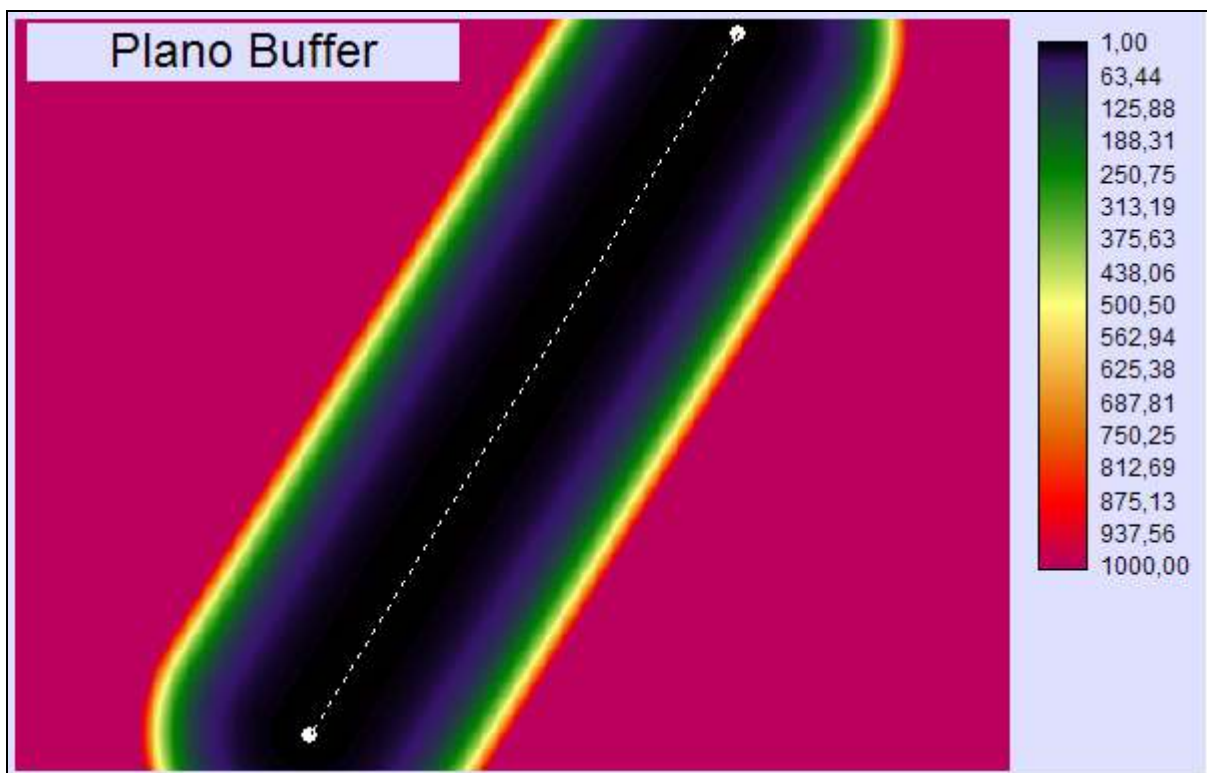


Figura 29: buffer LT

Tendo todos os planos de informações prontos, seguiu-se a etapa de confecção mapa de atrito geral e do traçado otimizado. A confecção do mapa de atrito se dá pela soma dos planos de informações ponderados. Os planos que possuem maior influência na geração do traçado conseqüentemente terão um peso maior que os demais.

No caso da linha de transmissão o mapa de atrito gerado é mostrado na figura 30.

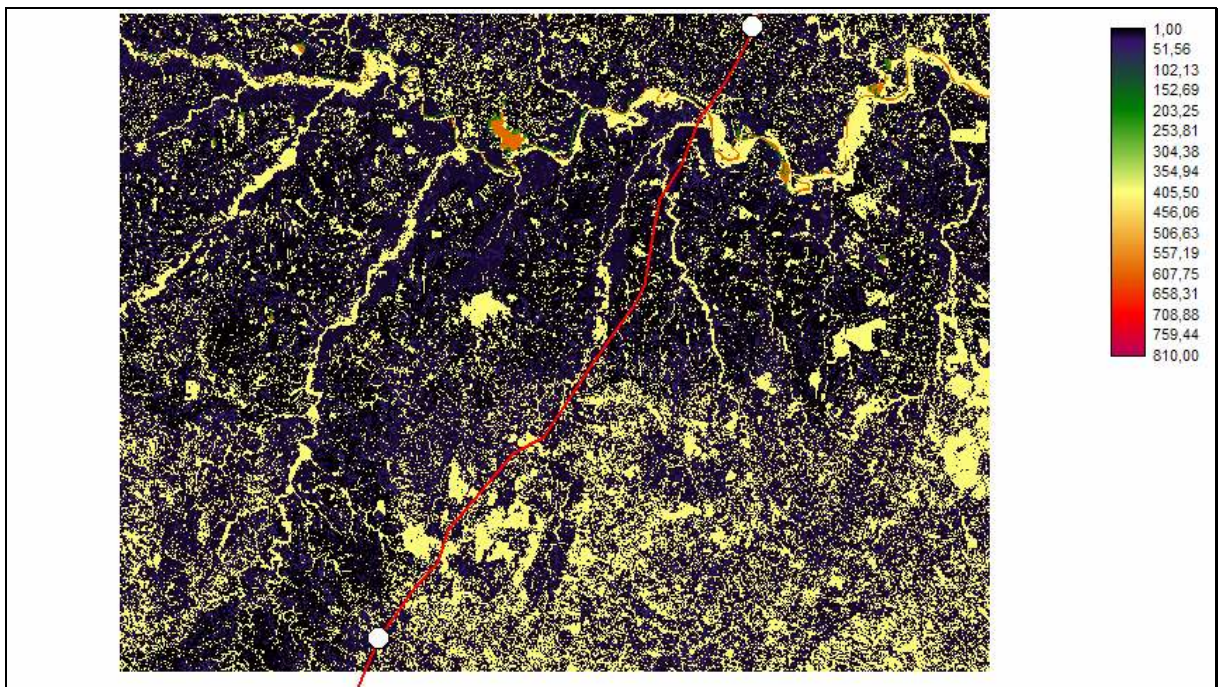


Figura 30: mapa de atrito LT

Por último, gerou-se um mapa temático de menor custo. Este mapa representa a distância de menor custo entre os pontos de início e fim do traçado, seguindo o critério definido no mapa de atrito. Por meio desse mapa de custo é possível gerar o traçado mais otimizado. A figura 31 mostra o mapa de custo para esta linha de transmissão.

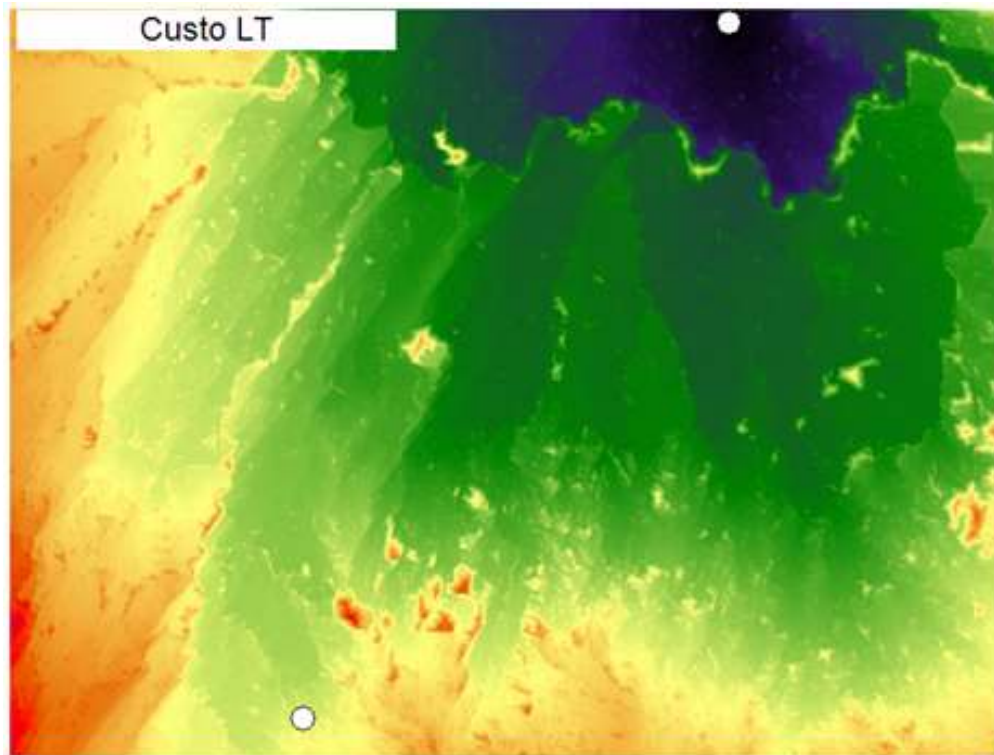


Figura 31: mapa de custo da LT

6.2 ESTUDO DE UMA RODOVIA

Para o estudo do traçado de rodovia analisou-se a BR 290 no trecho que vai da cidade de Pântano Grande até o cruzamento com a BR 392 e seguindo por ela até a cidade de São Sepé. Ela se estende num percurso de aproximadamente 130 Km.

A geração do traçado dessa rodovia foi feita exatamente da mesma forma e na mesma seqüência da confecção do traçado da linha de transmissão já detalhado no item anterior desse trabalho. O único diferencial é a localização do empreendimento.

Para a BR 290 foi utilizada uma imagem LANDSAT adquirida na data de 24 de setembro de 1999.

A figura 32 mostra a área de estudo neste empreendimento.

O processo de classificação supervisionada é semelhante ao feito na linha de transmissão. Este processo é demonstrado na figura 34.

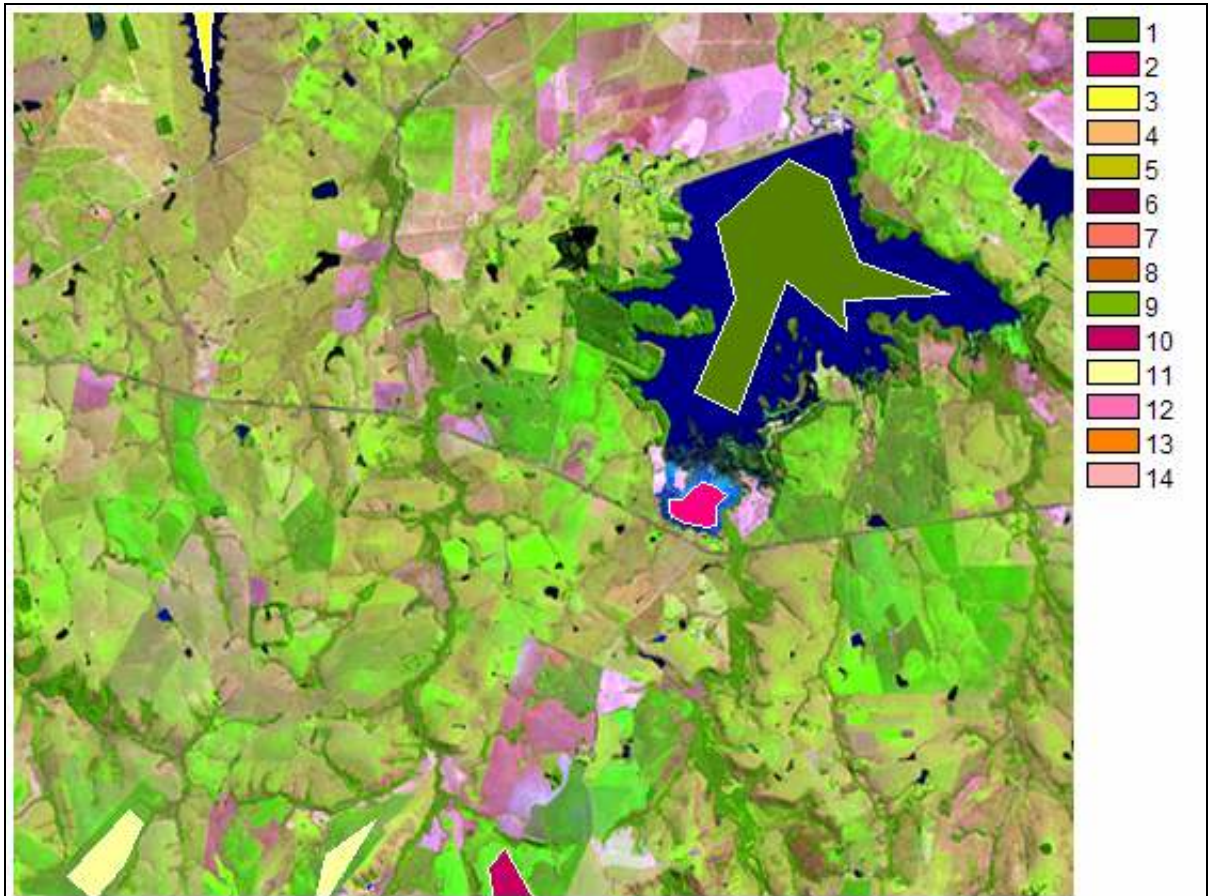


Figura 34: classificação supervisionada rodovia

A figura 35 mostra o plano de informação gerado para o uso do solo na rodovia em estudo.

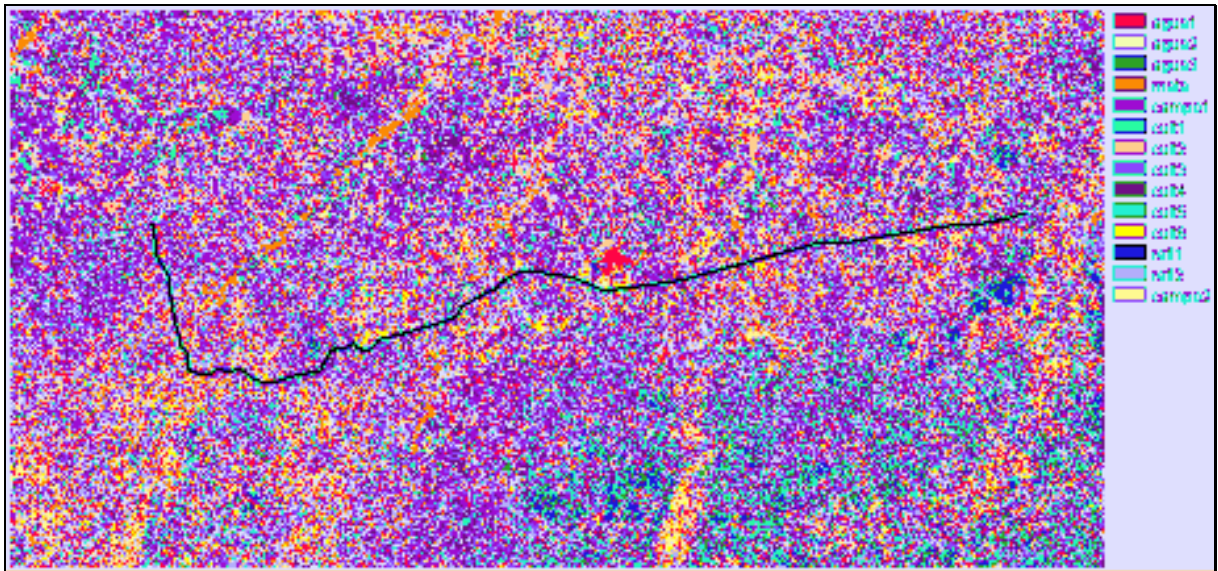


Figura 35: uso do solo rodovia

Os pesos para as características de uso do solo foram listados na figura 36.

Uso dos Solos	
Água 1 (água profunda)	1000
Água 2 (água rasa)	10
Água 3 (água profunda)	1000
Mata	500
Campo 1	1
Cultivo 1	1
Cultivo 2	1
Cultivo 3	1
Cultivo 4	1
Cultivo 5	1
Cultivo 6	1
Reflorestamento 1	100
Reflorestamento 2	100
Campo 2	1

Figura 36: pesos do uso do solo rodovia

Gerou-se também um plano de informações de declividades que é demonstrado na figura 37.

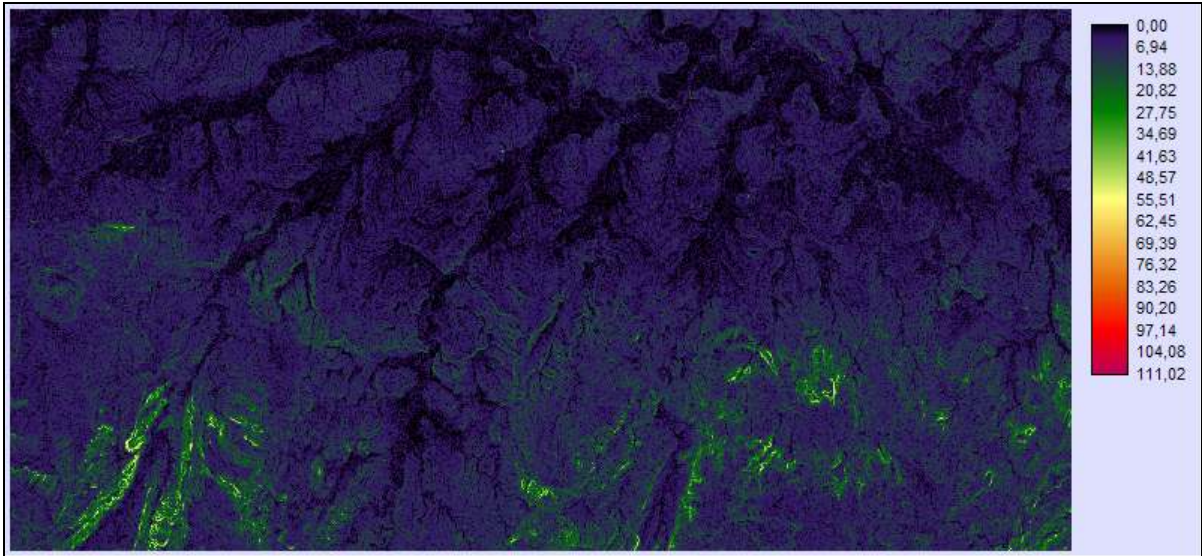


Figura 37: declividades rodovia

Os pesos para as características de declividades são vistos na figura 38.

Declividades		
Muito Bom	0 - 5%	1
Bom	5 - 10%	10
Intermediário	10 - 20%	100
Impróprio	20 - 100%	1000

Figura 38: peso das declividades rodovia

O plano de informação geotécnico é mostrado na figura 39.

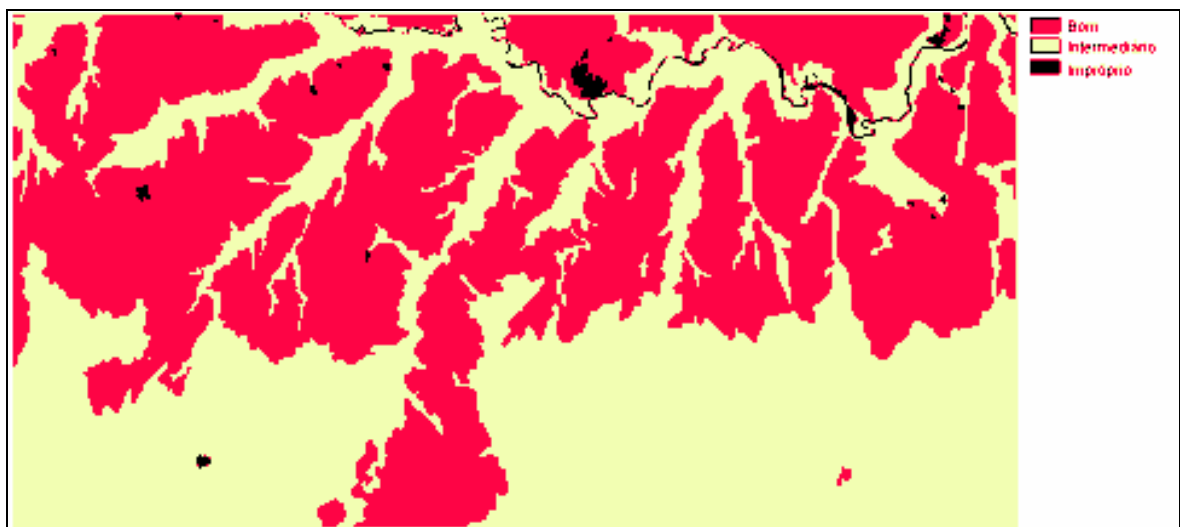


Figura 39: geotécnico rodovia

A ponderação usada para a confecção do mapa temático geotécnico é a apresentada na figura 40.

Pedologia	
Bom	1
Intermediário	10
Impróprio	1000

Figura 40: peso geotécnico rodovia

O plano de informação referente ao buffer foi feito em duas etapas. O primeiro trecho de Pântano Grande até o cruzamento com a BR 392 é mostrado na figura 41.

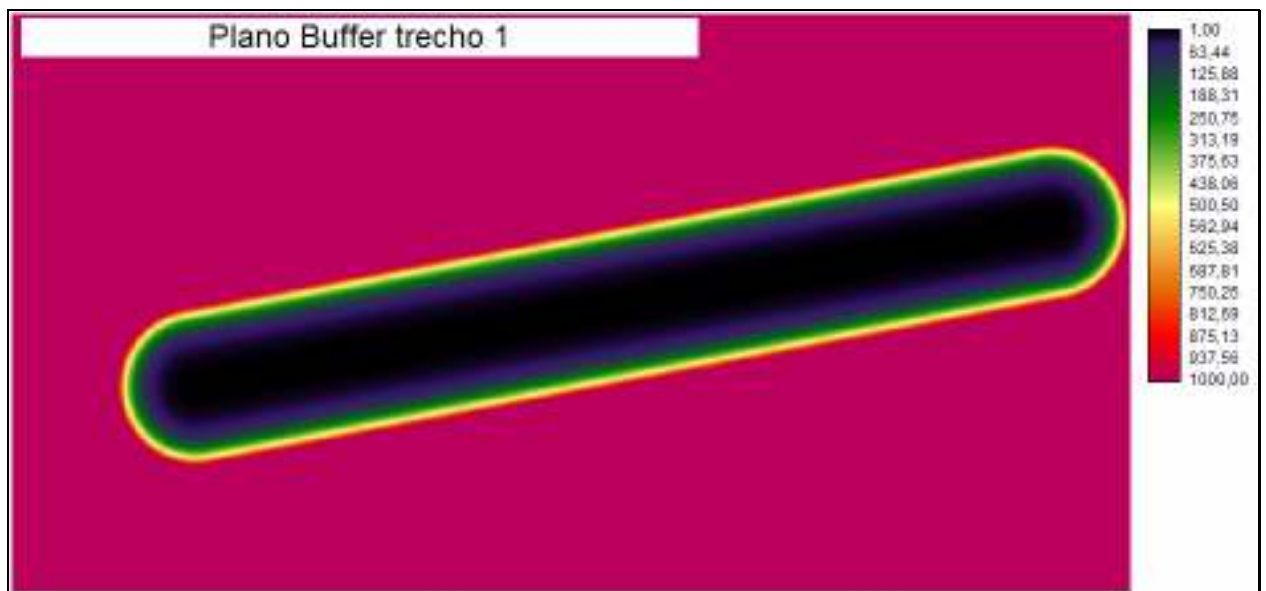


Figura 41: buffer trecho 1 da rodovia

O segundo trecho que compreende a BR 392 até São Sepé é mostrado na figura 42.

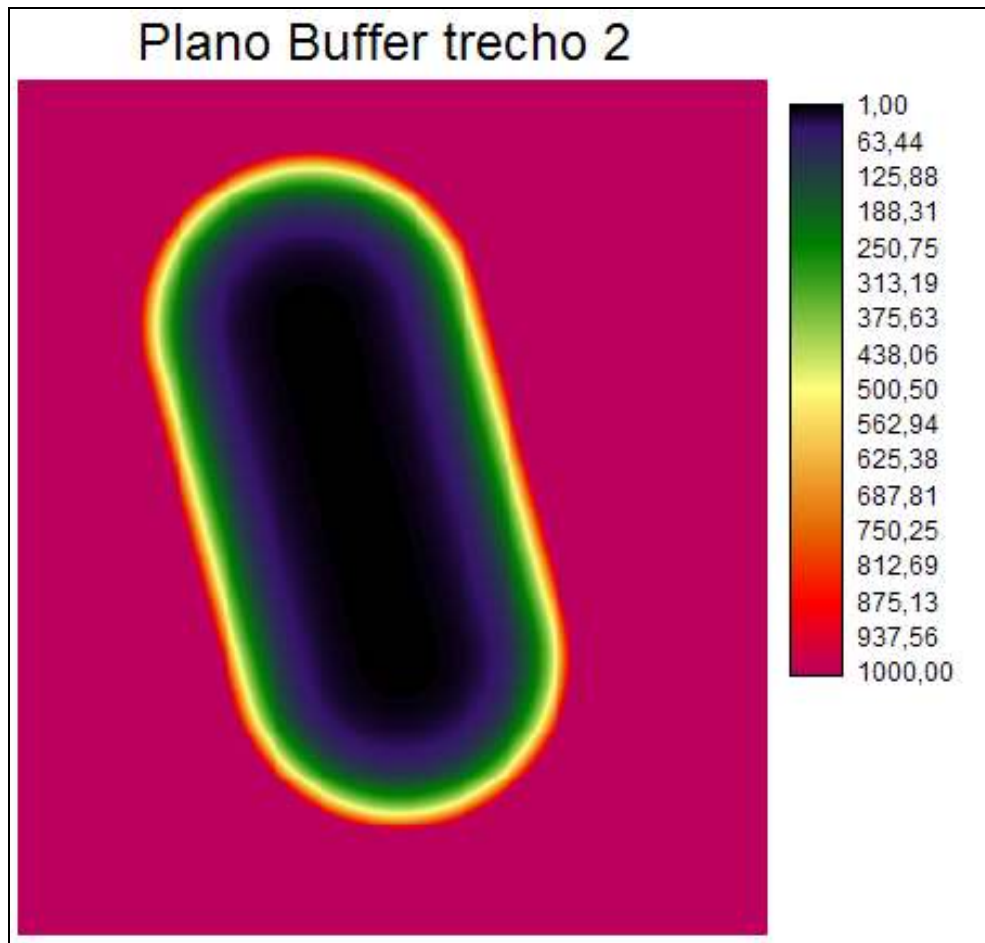


Figura 42: buffer trecho 2 da rodovia

O mapa de atrito da rodovia estudada é mostrado na figura 43.

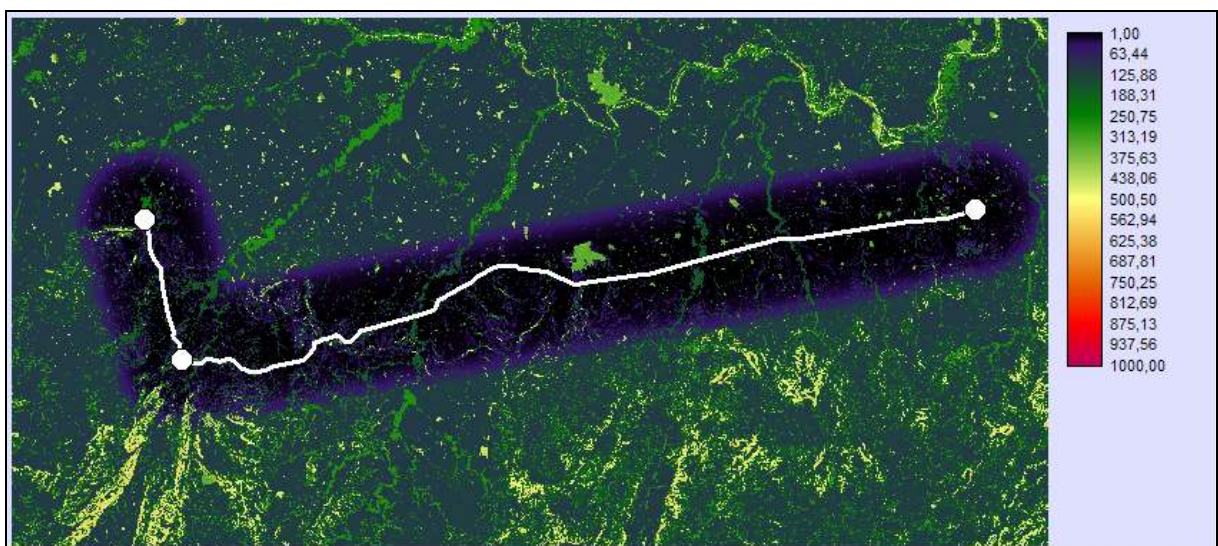


Figura 43: mapa de atrito rodovia

O procedimento seguinte foi a geração do mapa menor custo. Para tanto foram utilizados os parâmetros do mapa de atrito da região. A figura 44 mostra o mapa de menor custo do trecho 1.



Figura 44: mapa de custo trecho 1 da rodovia

A figura 45 mostra o mapa de menor custo do trecho 2 da rodovia.

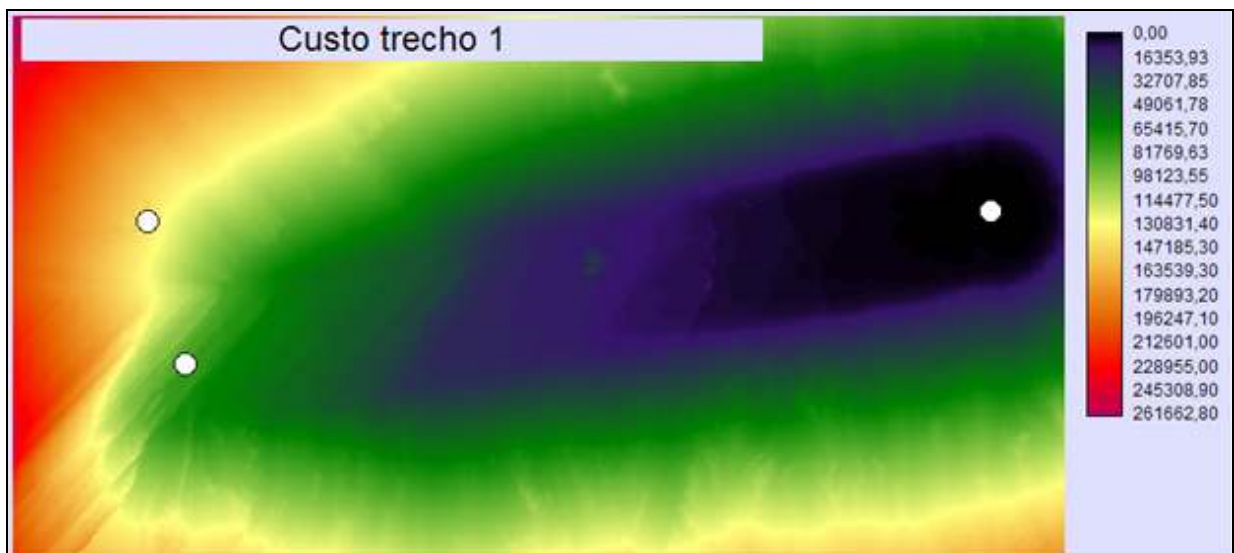


Figura 45: mapa de custo trecho 2 da rodovia

7 RESULTADOS

Para poder comparar os caminhos gerados pelo método proposto neste estudo, e os caminhos já implementados, unificaram-se todos os mapas de atritos gerados a partir do método de análise hierárquica com parâmetros de 1 a 1000, descrito nos capítulos anteriores, criando assim, um único mapa de atrito, chamado de mapa de atrito ambiental final. Este mapa tem como objetivo gerar uma trajetória de menor custo entre os pontos de início e fim do trajeto.

Os caminhos gerados demonstram a capacidade do sistema de encontrar traçados que concordam com as restrições dadas por um grupo multidisciplinar.

Em relação ao projeto de linhas de transmissão, a figura 46 mostra mapa de atrito final e o traçado gerado levando-se em conta somente os aspectos ambientais estudados nesse trabalho.

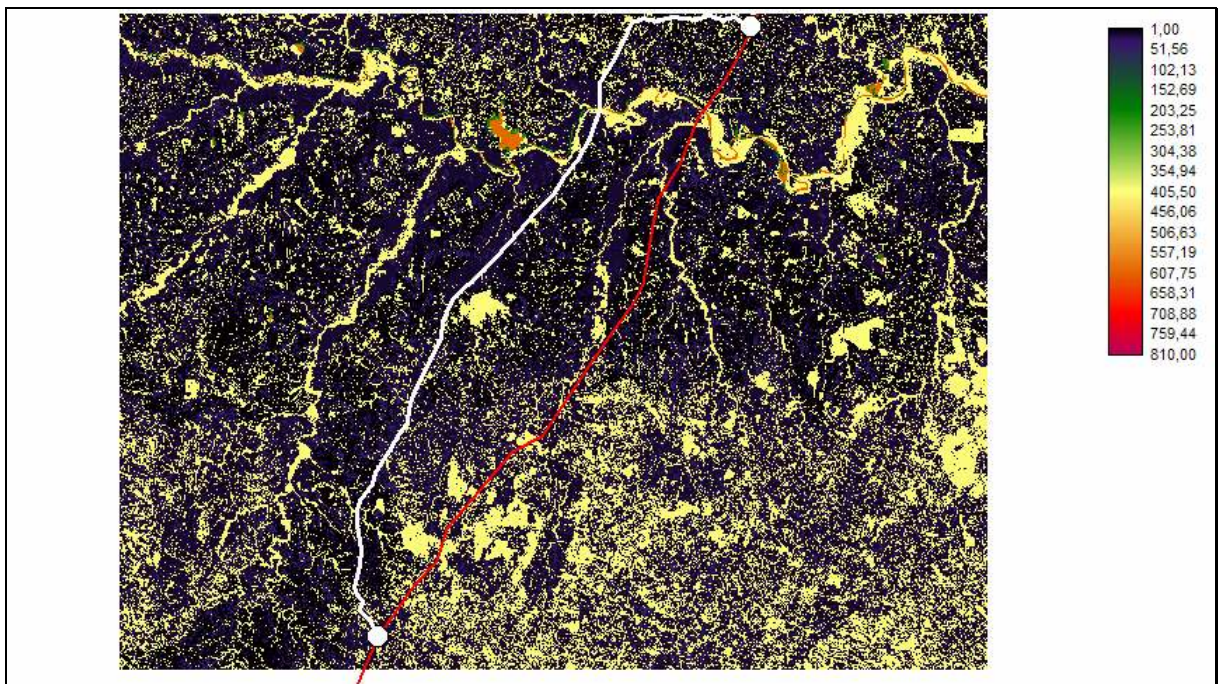


Figura 46: mapa de atrito ambiental final LT

Foi nele que a maior diferença foi observada em relação ao traçado construído. Essa diferença já era esperada, visto que o caminho mais econômico, aqui tratado como o caminho executado, nem sempre é o melhor em termos ambientais. O mais econômico, além de outras características, visa primeiramente o traçado com menores deflexões e isso, muitas vezes, não prioriza as melhores condições ambientais. Por existir essa condicionante muito importante,

decidiu-se gerar um outro plano de informação, por meio da construção de um *buffer*, que levasse em conta a necessidade dessa linearidade. Com ele foi possível forçar o caminho a seguir uma trajetória mais retilínea possível sem fazer com que esse trajeto cruzasse áreas não favoráveis ambientalmente.

A linha amarela na figura 47 mostra o caminho gerado quando considerada também a característica de linearidade do traçado.

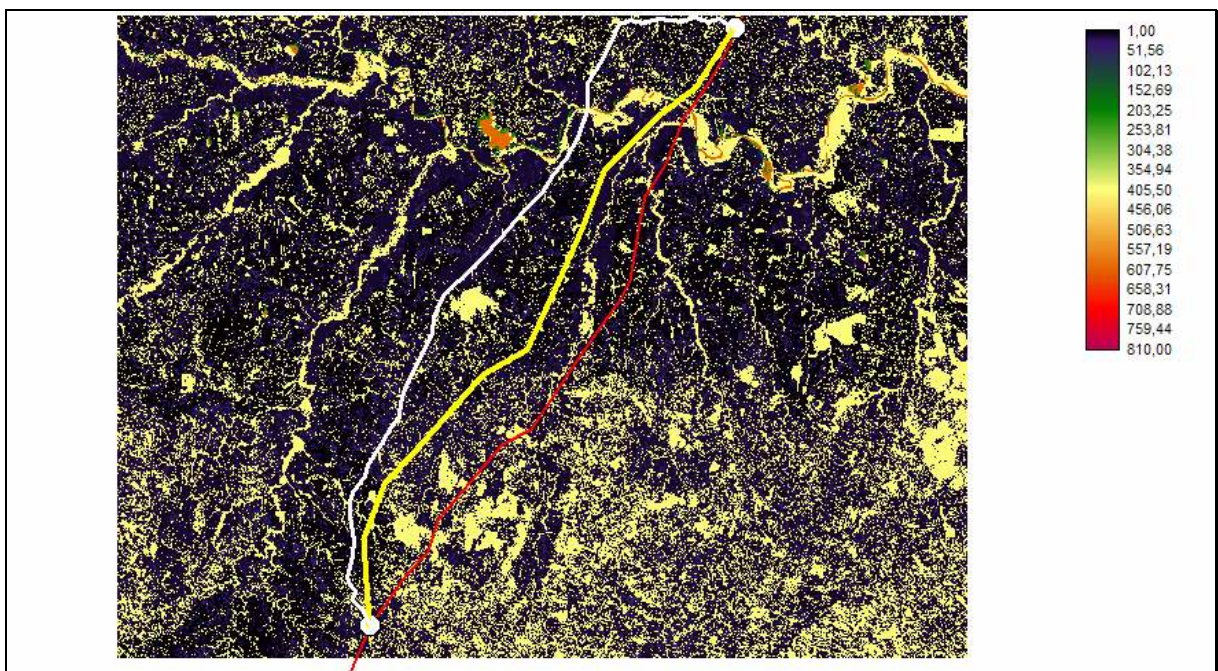


Figura 47: mapa de atrito ambiental final buffer LT

Para rodovias o mapa de atrito ambiental final foi feito em duas etapas. Isso aconteceu devido à obrigatoriedade de passagem do traçado em um vértice para seguir na BR 392 até São Sepé, o seu ponto final. A figura 48 mostra o mapa de atrito ambiental final da rodovia junto com o traçado de menor custo ambiental.

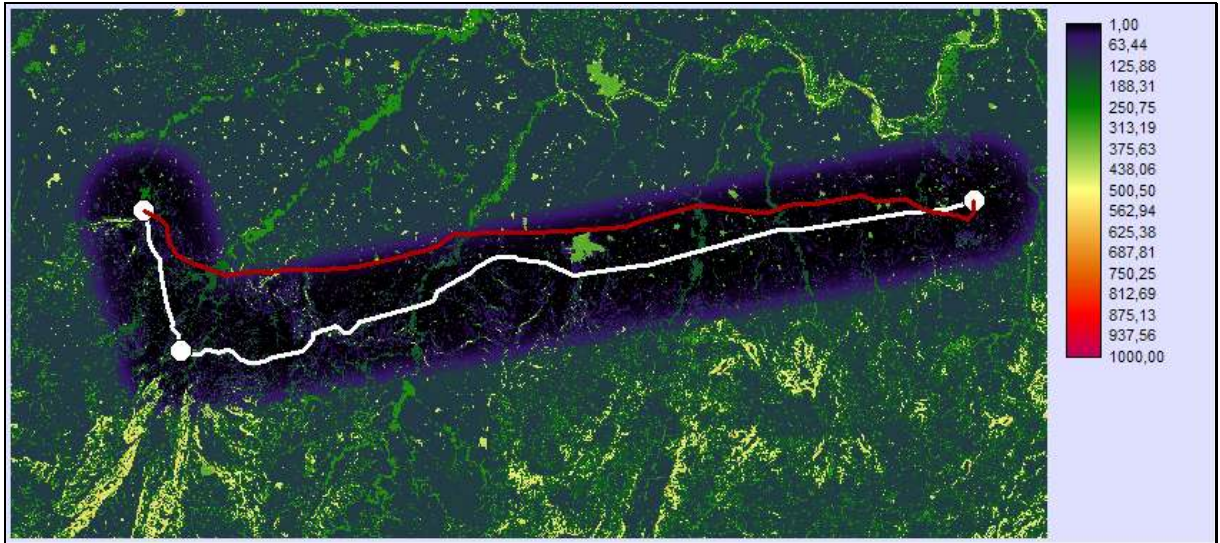


Figura 48: mapa de atrito ambiental final rodovia

Da mesma forma gerou-se um traçado alternativo com a utilização do plano de informação *buffer*. A figura 49 mostra o resultado.

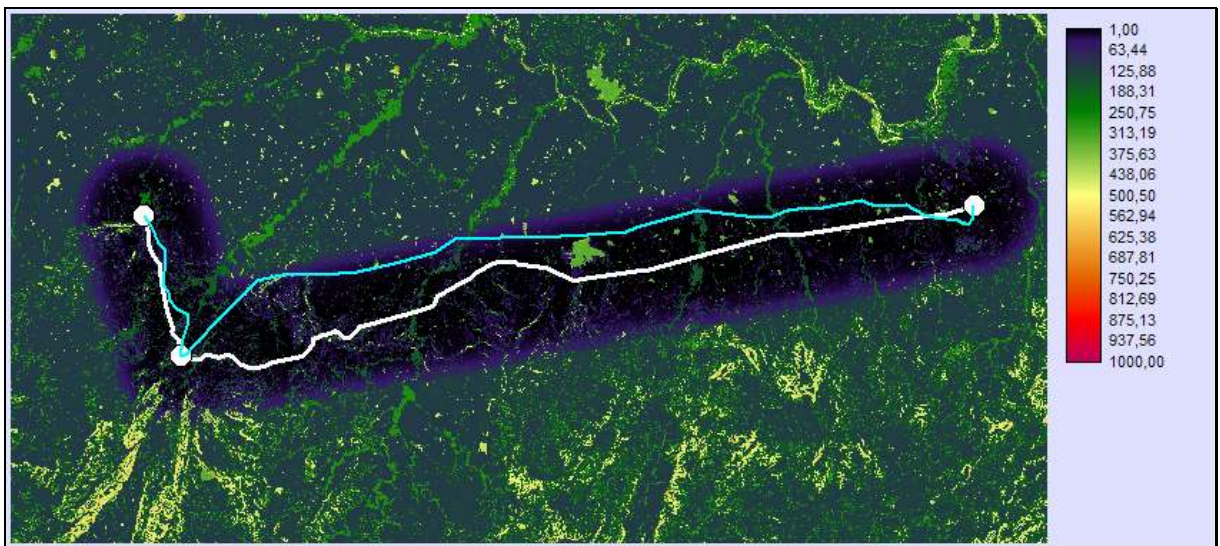


Figura 49: mapa de atrito ambiental final buffer LT

8 CONCLUSÕES

O sistema de apoio à tomada de decisão estudado neste trabalho foi avaliado com um subsídio potente para diminuir o número de alternativas de traçado de obras de engenharia com características lineares. Através dele pôde-se fazer uma avaliação em escritório da localidade das obras lineares descritas. A partir da visualização do terreno e a construção do traçado ótimo, em termos ambientais, é possível prever áreas em que a localização do empreendimento seria impossibilitada.

Para os dois casos estudados, pôde-se verificar a diferença nos traçados gerados pela metodologia aplicada e os implantados realmente nas regiões. Isso se explica, primeiramente, porque os traçados construídos não levaram em conta somente as limitantes ambientais como foi feito neste estudo.

Outra hipótese para os traçados não serem iguais é que as análises das imagens de satélite dos locais para a classificação do uso do solo foram feitas por avaliadores diferentes daqueles que realizaram o projeto das obras e com datas de épocas distintas. Como nesse tipo de empreendimento, a confecção do projeto e do RIMA é feita por uma equipe multidisciplinar, a avaliação das condicionantes territoriais é subjetiva, sempre dependente da sensibilidade de seus construtores.

Seja qual for o motivo da diferença nos traçados gerados, o método proposto se mostrou adequado no sentido de identificar claramente traçados que minimizem os impactos ambientais a partir dos condicionantes considerados. Entretanto, tais traçados possivelmente não são factíveis em razão da enorme discrepância em relação aos traçados construídos. Neste sentido, a utilização deste método associado à delimitação prévia de uma faixa de traçado (construção de um buffer), como o adotado neste trabalho, parece ser a melhor alternativa.

REFERÊNCIAS

BELLIA, V.; BIDONE, E. D. **Rodovias, recursos naturais e meio ambiente**. Niterói: EDUFF, 1992.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente**. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 1, de 23 de janeiro de 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 22 out. 2008.

_____. **Ministério do Meio Ambiente**. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 237, de 19 de dezembro de 1997. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=237>>. Acesso em: 22 out. 2008.

_____. **Presidência da Republica**. Casa Civil. Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.html>. Acesso em: 22 set. 2009.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. 2.ed. Oxford: Oxford University Press, 1986.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.) **Introdução a ciência da geoinformação**. São José dos Campos: DPI, 2006. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 15 out. 2008.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Conceitos Básicos em Ciência da Geoinformação. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.) **Introdução a ciência da geoinformação**. São José dos Campos: DPI, 2006. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 15 out. 2008.

CÂMARA, G.; QUEIROZ, G. R. Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.) **Introdução a ciência da geoinformação**. São José dos Campos: DPI, 2006. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 15 out. 2008

CONCEIÇÃO, C. L.; SOUZA, J. L. S. **Noções Básicas de Coordenadas Geográficas e Cartografia**. 1.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2000.

D'ALGE, J. C. L. Cartografia para Geoprocessamento. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.) **Introdução a ciência da geoinformação**. São José dos Campos: DPI, 2006. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 15 out. 2008.

FELGUEIRAS, C. A.; CÂMARA, G. Modelagem numérica de terreno. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.) **Introdução a ciência da geoinformação**. São José dos Campos: DPI, 2006. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 15 out. 2008.

FITZ, P. R. **Cartografia Básica**. 1.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

_____. **Geração de múltiplos critérios para apoio à decisão em dados geoprocessados. Um estudo de caso:** a microbacia hidrográfica de Inhandava, em Maximiliano de Almeida, RS. 2005. 191 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

INTERGRAPH CORPORATION. **GIS Executive Overview**. 2. versão. CD-ROM multimídia, 1995.

KOCHEN, R. Dutos e Obras Lineares: condicionantes geológicas-geotécnicas para projetos e construções. **Revista Engenharia**. São Paulo: Engenho, 2006. n. 575, p. 80-81.

LOCH, C.; CORDINI, J. **Topografia Contemporânea: planimetria**. 2.ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2000.

MENDES, C. A. B. **Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto na região estuariana da Laguna dos Patos Rio Grande do Sul, Brasil**. 1990. 191 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação**. 1.ed. Porto Alegre: ABRH, 2001.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2003.

NAMIKAWA, L. M.; FELGUEIRAS, C. A.; MURA, J. C.; ROSIM, S.; LOPES, E. S. (Org.) **Modelagem numérica de terreno e aplicações**. São José dos Campos: INPE, 2003. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br:80/rep-/sid.inpe.br/marciana/2003/03.10.11.36>>. Acesso em: 10 out. 2008.

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. 113 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PINA, M. F. Armazenamentos dos dados em SIG. In: CARVALHO, M. S.; PINA, M. F.; SIMONE, M. S. (Org.) **Conceitos Básicos de Informação Geográfica Aplicados à Saúde**. 1.ed. Brasília: Organização Panamericana de Saúde; Ministério da Saúde, 2000. p. 41-60.

PINA, M. F.; CRUZ, C. B. Conceitos básicos de cartografia para utilização em sistemas de informações geográficas. In: CARVALHO, M.S.; PINA, M.F.; SIMONE, M.S. (Org.) **Conceitos Básicos de Informação Geográfica Aplicados à Saúde**. 1.ed. Brasília: Organização Panamericana de Saúde; Ministério da Saúde, 2000. p. 91-107.

PINA, M. F.; CRUZ, C. B. M.; MOREIRA, R. I. Aquisição de dados digitais. In: CARVALHO, M.S.; PINA, M.F.; SIMONE, M.S. (Org.) **Conceitos Básicos de Informação Geográfica Aplicados à Saúde**. 1.ed. Brasília: Organização Panamericana de Saúde; Ministério da Saúde, 2000. p. 67-89.

RIO GRANDE DO SUL. **Fundação Estadual de Proteção Henrique Luiz Roessler**. Estudo de Impacto Ambiental (EIA) / Relatório de Impacto Ambiental (RIMA). Porto Alegre, 2002. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/>>. Acesso em: 22 out. 2008.

RODRIGUES, M. Geoprocessamento: um retrato atual. **Revista Fator GIS**, Curitiba: Sagres, ano 1, 1993, n. 2, p. 20-23.

SANTOS, S. M.; PINA, M. F.; CARVALHO, M. S. Os Sistemas de Informações Geográficas. In: CARVALHO, M.S.; PINA, M.F.; SIMONE, M.S. (Org.) **Conceitos Básicos de Informação Geográfica Aplicados à Saúde**. 1.ed. Brasília: Organização Panamericana de Saúde; Ministério da Saúde, 2000. p. 13-39.

SCARIM, J. L.; TEIXEIRA, A. L. A. Digitalização e Conversão Raster/Vetor de Mapas. **Revista Fator GIS**. Curitiba: Sagres, ano 2, n. 6, 1994, p. 16-21.

SILVA, J. X. **Geoprocessamento para Análise Ambiental**. 1.ed. Rio de Janeiro: D5, 2001.

SOUZA, F. C. B. **Sistemas de apoio à decisão em ambiente espacial aplicado em um estudo de caso de avaliação de áreas destinadas para a deposição de resíduos sólidos na região metropolitana de Porto Alegre**. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <<http://www.eps.ufsc.br/teses99/souza/index.html#R>>. Acesso em: 10 out. 2009.

STAMM, H. R. **Método para avaliação de impacto ambiental (AIA) em projetos de grande porte**: estudo de caso de uma usina termelétrica. 2003. 266 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

TEIXEIRA, M. B. **Emprego de uma metodologia multicritério na avaliação do estudo de impacto ambiental de hidrelétricas**. 2006. 276 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

VALERIANO, M. M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. São José dos Campos: INPE, 2004. Disponível em: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/downloads/SRTM/publicacao.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2008.