

CLEBSON ALVES DE SÁ

**MAPEAMENTO DE DECLIVIDADES VOLTADO PARA O
CONTROLE DE PROCESSOS
EROSIVOS EM SÍTIOS FLORESTAIS**



Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Geoprocessamento da Universidade Federal de Minas Gerais para a obtenção do título de Especialista em Geoprocessamento

**ORIENTADOR
PROFESSOR PLÍNIO TEMBA**

2001

Sá, Clebson Alves

Mapeamento de Declividades Voltado para o Controle de Processos Erosivos em Sítios Florestais, 2001.

35p.

Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais.
Departamento de Cartografia.

1. SIG 2. Florestal. 3. Modelo Digital de Terreno 4. Erosão.
Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. Departamento de Cartografia

SÚMARIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	APRESENTAÇÃO.....	1
1.2	OBJETIVOS.....	1
1.3	ÁREA DE ESTUDO.....	2
1.4	ESCOLHA DO SOFTWARE.....	4
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	5
2.1	GEOPROCESSAMENTO.....	5
2.1.1	Conceito.....	5
2.2	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA.....	5
2.2.1	Conceito.....	5
2.2.2	Importância.....	6
2.2.3	Obtenção dos Dados.....	7
2.3	EROSÃO E A OCUPAÇÃO RURAL E URBANA.....	7
2.3.1	Conceito.....	7
2.3.2	Causas e Conseqüência da Erosão.....	8
2.3.3	Fatores Naturais Influentes da Erosão.....	9
2.3.3.1	Chuva.....	9
2.3.3.2	Cobertura Vegetal.....	9
2.3.3.3	Topografia.....	10
2.3.3.4	Solos.....	10
2.3.4	Controle da Erosão em Áreas Rurais.....	11
2.3.5	Noções sobre Capacidade de Uso da Terra.....	11
2.3.6	Suscetibilidade à Erosão.....	13
2.4	MODELO DIGITAL DE TERRENO.....	13
2.4.1	Conceituação Básica Sobre M.D.T.....	14
2.4.2	Obtenção das Informações da Superfície Real.....	14
2.4.3	Amostragem de Pontos em Forma de Perfis.....	15
2.4.3.1	Perfilagem Regular.....	15
2.4.3.2	Perfilagem Irregular.....	15
2.4.3.3	Amostragem de Pontos Independentes.....	16
2.4.3.4	Amostragem com Perfis Irregulares e Pontos Independentes.....	16

2.4.4	Elaboração do Modelo Matemático	16
2.4.4.1	Triangulação	17
2.4.4.2	Malha Regular.....	20
2.4.4.3	Funções de Interpolação	20
3	CRIAÇÃO E ANÁLISE DE MAPAS TEMÁTICOS	24
3.1	FLUXUGRAMA DA METODOLOGIA	26
4	CONCLUSÕES E CRÍTICAS.....	27
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

LISTAS DE FIGURAS

FIGURA 01 – FASES DE TRABALHO NECESSÁRIAS AO PROCESSO DE MODELAMENTO MATEMÁTICO DE SUPERFÍCIES	14
FIGURA 02 – AMOSTRAGEM EM FORMA DE PERFIS REGULARES	15
FIGURA 03 – AMOSTRAGEM EM FORMA DE PERFIS IRREGULARES	16
FIGURA 04 – FORMA DE AMOSTRAGEM DE PONTOS INDEPENDENTES.....	16
FIGURA 05 – MODELO DIGITA DE TRIANGULAÇÃO.....	17
FIGURA 06 – PROPRIEDADE DO CIRCUNCÍRCULO NA DEFINIÇÃO DE TRIÂNGULOS DE DELAUNAY.	18
FIGURA 07 – TRIANGULAÇÃO DE DELAUNAY (LINHAS CHEIAS) E POLIGONAÇÃO DE VORONOI (LINHAS TRACEJADAS).....	19

LISTA DE MAPAS

MAPA 1 – LOCALIZAÇÃO DA FAZENDA CAMPO ALEGRE.....	2
MAPA 2 – PLANTA DA ÁREA EM ESTUDO, PARTE DA FAZENDA CAMPO ALEGRE.....	3
MAPA 3 – MAPA DE DECLIVIDADE.....	25

LISTA DE SIGLAS

SIG – Sistema de Informação Geográfica

MG – Minas Gerais

UTM – Universal Transversa de Mercator

VMB - Vallourec & Mannesmann do Brasil

VMFL – Vallourec & Mannesmann Florestal Ltda.

CGIS - Canadian Geographic Information System

DTM - Digital Terrain Model

SPOT – Systeme Probatoire D’Observation de La Terre

IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica

MDT – Modelo Digital de Terreno

M.M.Q – Mínimo Múltiplo Quadrado

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

O conhecimento do espaço é fundamental para o desenvolvimento ordenado das atividades humanas, pois tudo que acontece tem uma relação espacial. Particularmente nas áreas da engenharia, economia, administração, sociologia, saúde, segurança e meio ambiente a componente posicional da informação é de especial importância.

Atualmente os sistemas de informações geográficas (SIGs) vieram auxiliar o planejador, principalmente nas tarefas de busca, análise e cruzamento de dados relacionados ao espaço geográfico.

Quando se pensa num projeto de implantação de um SIG um fator de grande relevância a ser considerado é o custo, pois as informações geográficas necessitam de métodos de levantamentos muitas vezes diretos, *in loco*, o que onera muito a implantação. (PEREIRA, 1993).

1.2 Objetivos

Há estudos que apontam que a atividade agrária, desenvolvida em grande escala, pode provocar impactos ambientais negativos seja pela supressão da cobertura vegetal nativa ou pela homogeneidade criada pela monocultura. Foram então realizados experimentos diversos com vista a:

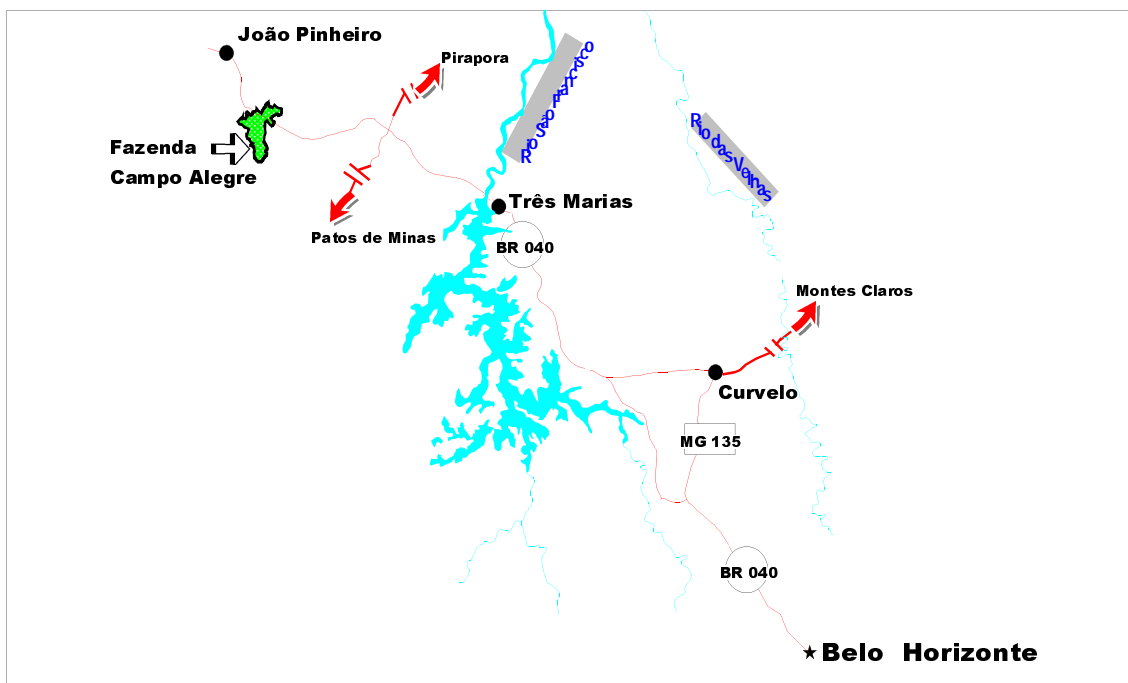
- a) conciliar a implantação da atividade florestal e a preservação do bioma do cerrado;
- b) o desenvolvimento de um modelo de ocupação para utilização na implantação;
- c) a recuperação ambiental de áreas degradadas. O trabalho em questão quer descrever a metodologia praticada para o mapeamento digital de sinistros naturais (queimadas, erosão, assoreamento de cursos d'água etc.) decorrentes, sobretudo, do plantio e manejo de eucaliptos voltados para a produção de carvão vegetal.

A cartografia digital aliada aos recursos de manipulação de dados favorecidas pelo SIG poderá permitir a evidência destas questões e, sobretudo, favorecer a tomada de decisão levada pelos registros das informações, implementação de projetos de ação preventivas e combinadas.

1.3 Área de Estudo

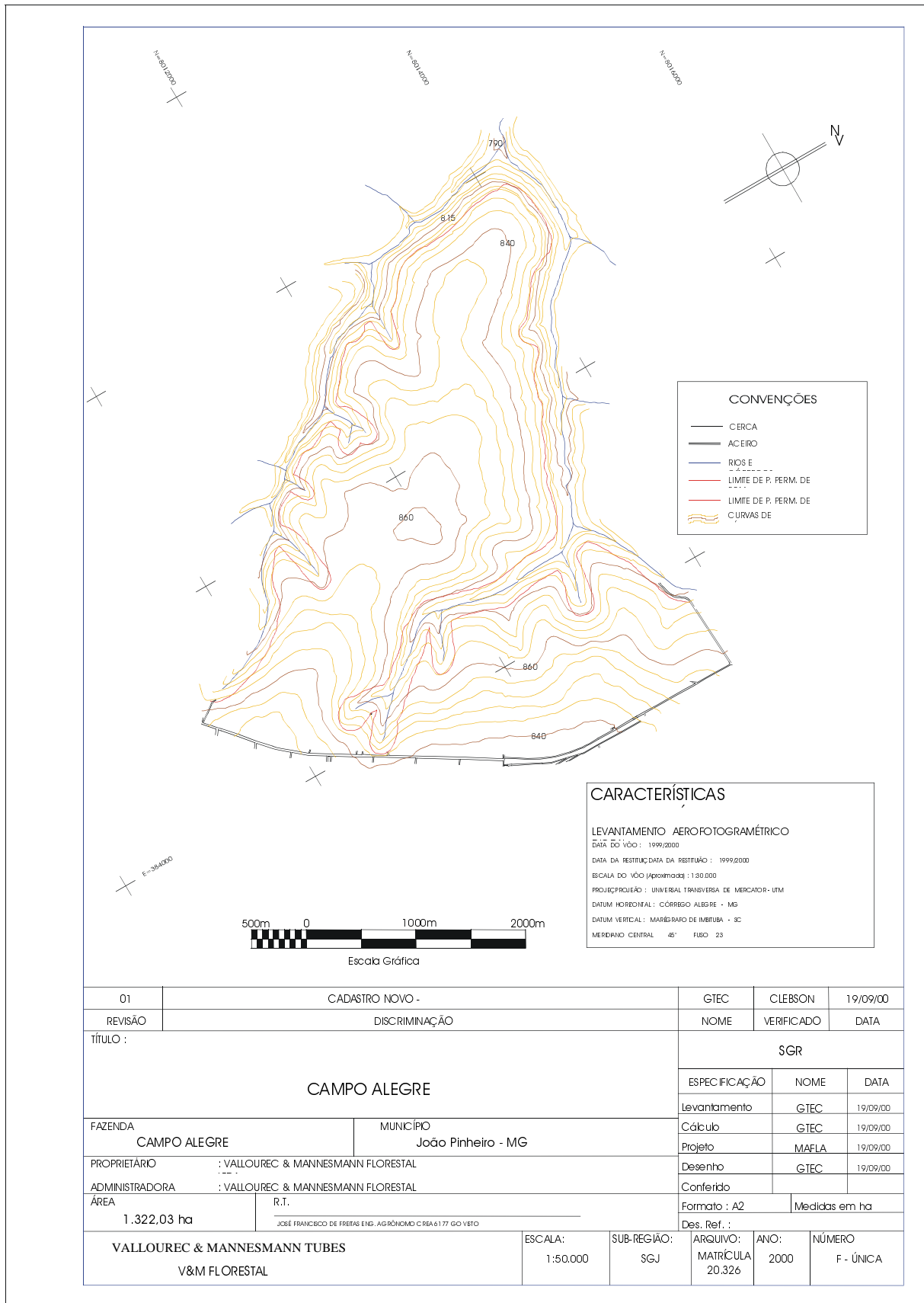
A área escolhida para realização deste estudo é parte da Fazenda Campo Alegre, situada no município de João Pinheiro, MG. A fazenda em estudo pertence a empresa V&M Florestal Ltda., cuja principal atividade é a produção de carvão vegetal, produzido através de atividade sustentável do ponto de vista ambiental, social, da qualidade, saúde e segurança do trabalho.

A fazenda está localizada a cerca de 395 Km na direção noroeste da capital mineira, Latitude 17° 55' 14" S e Longitude 46° 10' 20" W , coordenadas UTM Zona/fuso 23, SAD 69, 382.000E , 8.014.000 N , do meridiano central 45°, conforme mapa 1.



MAPA 1 – Localização da Fazenda Campo Alegre.

A área total da fazenda é de 13.604,39 ha, sendo 8.887,21 ha de plantio, sendo a área em estudo tem 1.322,03 ha, conforme mapa 2.



MAPA 2 – Planta da Área em Estudo, parte da Fazenda Campo Alegre

Criado em 1969 com o objetivo de desenvolver alternativa de geração de energia renovável, em substituição ao carvão mineral, para atender à demanda energética da atividade siderúrgica da Vallourec & Mannesmann do Brasil (VMB), a V&M Florestal Ltda. (VMFL), instalou-se ao Norte e Noroeste do Estado de Minas Gerais, onde predomina o bioma do cerrado, promovendo a atividade de florestamento, utilizando o *Eucalyptus spp*, destinado à produção de carvão vegetal.

O Plantio encontra-se na Bacia do São Francisco, região que possui solos poucos desenvolvidos, ambos álicos fase campo cerrado e relevo ondulado.

Como qualquer atividade agrária, desenvolvida em grande escala, a atividade de florestamento também pode provocar impactos ambientais negativos, seja pela supressão da cobertura vegetal nativa, seja pela homogeneidade criada pela monocultura.

Foram então realizados diversos estudos buscando conciliar a implantação da atividade florestal e a preservação do bioma do cerrado, objetivando o desenvolvimento de um modelo de ocupação para utilização na implantação e recuperação ambiental de áreas reflorestadas.

Para conciliar a preservação com as atividades florestal, visando identificar todas as feições existente nos sítios florestais a V&M Florestal, teve início em 1998 a atualização de sua base cartográfica. A partir deste ano, está sendo feito um estudo para a implantação de um SIG e neste trabalho será demonstrado algumas aplicações gerais dentro da área florestal , sendo o ponto inicial para um estudo mais amplo buscando ampliar as aplicações dentro do ramo florestal.

1.4 Escolha do Software

Para obtenção da base de dados, optou-se pelo AutoCad R14 da Autodesk, onde foi feito o recorte da área em estudo.

Na etapa seguinte de geração do MDT e de mapas temáticos optou-se pelo MicroStation da Bentley, mais precisamente o módulo GeoTerrain. Este módulo tem recursos de um SIG, é um aplicativo de modelagem de terreno que disponibiliza funções de mapeamento de informações derivadas do MDT.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Geoprocessamento

2.1.1 CONCEITO

Geoprocessamento (ALVES, 1993), é um conjunto de tecnologias voltadas a coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico. Essas atividades são executadas por sistemas chamados de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Eles são destinados ao processamento de dados georeferenciados desde a sua coleta até a geração de produtos como mapas, relatórios e arquivos digitais, oferecendo recursos para armazenamento, gerenciamento, manipulação e análise dos dados.

2.2 Sistema de Informação Geográfica

2.2.1 CONCEITO

Um SIG (ALVES, 1993) é uma ferramenta computacional (software) criada especialmente para armazenamento e manipulação de dados e informações espacialmente distribuídos em um computador. Mais do que um sistema de apresentação e processamento de dados, ele possui módulos para a realização de operações analíticas, sobreposição e cruzamento de informações. O banco de dados permite a associação de atributos e a realização de consultas, permitindo a análise e modelagem de informações espacialmente distribuídas.

Especificamente, é um sistema que processa dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos) com ênfase a análises espaciais e modelagens de superfícies e pode ser definido como uma ferramenta criada para armazenamento, manipulação e visualização de dados e informações espacialmente distribuídas em computador.

O que caracteriza um SIG é a integração numa única base de dados informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro

urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno entre outros, oferecendo mecanismos para combinar essas informações através de módulos de manipulação e análise, que permitem consultas, recuperação e visualização do conteúdo da base de dados, além da geração de mapas.

O primeiro pacote computacional a funcionar como um verdadeiro SIG e a assim ser intitulado foi o Canadian Geographic Information System (CGIS), criado em 1966 por R. Thomlinson na Universidade de Harvard (ALVES, 1993). A popularização dos microcomputadores e o aumento de sua capacidade de processamento nos últimos anos, possibilitou aos SIGs rápida difusão, propiciando o surgimento de novos "pacotes" computacionais e a sua utilização em inúmeras aplicações não se restringindo a geógrafos e cientistas ligados ao estudo da terra. Seu campo de aplicação é bastante variado, sendo encontrado em atividades diversas como a cartografia, sensoriamento remoto, geografia, gerenciamento ambiental, planejamento urbano e estudos envolvendo a exploração e preservação de recursos naturais.

Diante de observações feitas por alguns autores, pode-se afirmar que um sistema de informação geográfica é aquele assistido por computador e apropriado à aquisição, armazenagem, recuperação, atualização, processamento, análise e representação de dados ambientais (ALVES, 1993).

2.2.2 IMPORTÂNCIA

A importância dos sistemas de informação geográfica pode ser avaliada pelas suas aplicações nos mais diversos campos do conhecimento humano. De modo geral, esses sistemas tem sido aplicados ao manejo de recursos naturais, ao planejamento urbano e do tráfico, ao planejamento empresarial e militar e a muitos outros.

Na área florestal, a princípio, os sistemas de informação geográfica foram concebidos para o inventário, o planejamento e o manejo, O grande número de trabalhos já realizados, comprova a importância desses sistemas para o setor florestal. Entre eles, pode-se citar: automação na elaboração de mapas temáticos, planejamento de revegetação e simulação da sucessão florestal pelo estabelecimento de modelos preditivos.

No Brasil é crescente o número de trabalhos que se referem ao estabelecimento de metodologias que possibilitam uma ampliação do uso de sistemas de informação geográfica. Usando um desses sistemas, procuram mostrar como chegar-se a um mapa de trafegabilidade de terreno, a partir de dados de relevo, solo, vegetação e hidrografia.

2.2.3 OBTENÇÃO DOS DADOS

Os dados destinados a alimentar os sistemas de informação geográfica provém, geralmente, de mapas e dados de sensoriamento remoto que variam quanto à escala e tipos de projeção. As imagens variam, ainda, quanto às resoluções espacial e espectral, tipos de filmes, periodicidade e outros.

Entre as fotografias, as aéreas verticais, para as condições brasileiras, ainda são as mais convencionais e apropriadas como fonte de dados. Todavia, fotografias aéreas não convencionais, como aquelas de pequeno formato, já estão sendo estudadas e utilizadas.

Entre as imagens de satélite, podem-se citar as Landsat, SPOT, e também, as imagens de radar, (ALVES, 1993).

2.3 Erosão e a Ocupação Rural e Urbana

2.3.1 CONCEITO

Entende-se por erosão o processo de “desagregação e remoção de partículas do solo ou de fragmentos e partículas de rochas, pela ação combinada da gravidade com a água, vento, gelo e/ou organismos (plantas e animais)” (IPT, 1986, apud Salomão et alli, 1995). Em geral, distinguem-se duas formas de abordagem para os processos erosivos: erosão “natural ou “geológica”, que se desenvolve em condições de equilíbrio com a formação do solo, e erosão “acelerada” ou “antrópica”, cuja intensidade, sendo superior à da formação do solo, não permite a sua recuperação natural. A erosão acelerada, provocada pela ação da água em consequência da ocupação humana, é que será tratada aqui.

O entendimento desses processos erosivos permite destacar dois importantes eventos iniciais, envolvendo, por um lado, o impacto das gotas de chuva na superfície

do solo, promovendo a desagregação e liberação das suas partículas; e, por outro, o escoamento superficial das águas permitindo o transporte das partículas liberadas. Dependendo da forma em que se dá o escoamento superficial ao longo da vertente, podem-se desenvolver dois tipos de erosão: erosão laminar ou em lençol, quando causada por escoamento difuso das águas de chuva, resultando na remoção progressiva e relativamente uniforme dos horizontes superficiais do solo; e erosão linear, quando causada por concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial, resultando em pequenas incisões na superfície do terreno, em forma de sulcos, que podem evoluir por aprofundamento a ravinas.

Caso a erosão se desenvolva por influência, não somente das águas superficiais, mais também dos fluxos d'água subsuperficiais, em que se inclui o lençol freático, configura-se o processo mais conhecido por boçoroca ou voçoroca, com desenvolvimento de "piping" (erosão interna ou tubular).

O fenômeno de "piping" provoca a remoção de partículas do interior do solo, formando canais que evoluem em sentido contrário ao do fluxo d'água, podendo dar origem a colapsos do terreno, com desabamentos que alargam a boçoroca ou criam novos ramos. Assim, a boçoroca é palco de diversos fenômenos: erosão superficial, erosão interna, solapamentos, desabamentos, e escorregamentos, que se conjugam no sentido de dotar esta forma de erosão de elevado poder destrutivo.

2.3.2 CAUSAS E CONSEQÜÊNCIA DA EROSÃO

A ocupação humana, iniciada pelo desmatamento e seguida pelo cultivo da terra, construção de estradas, criação e expansão das vilas e cidades, sobretudo quando efetuada de modo inadequado, constitui o fator decisivo da origem e aceleração dos processos erosivos. Deflagrados pela ocupação do solo, os processos erosivos passam a ser comandados por diversos fatores naturais relacionados às características da chuva, do relevo, do solo, e da cobertura vegetal. A frequência da manifestação dos processos erosivos, do tipo laminar e em sulcos, e o desenvolvimento de ravina profundas e boçorocas mobilizam milhares de m³ em pouco tempo, destruindo terras de cultura, equipamentos urbanos e obras civis.

Parte dos sedimentos provenientes da erosão depositam-se em posições determinadas das vertentes, destruindo solos férteis; e, outra parte, pode atingir o fundo

dos vales, provocando assoreamentos de cursos d'água ou de reservatórios. O assoreamento se constitui em um dos mais graves impactos da erosão no meio ambiente, desequilibrando as condições hidráulicas, promovendo enchentes, perdas de capacidade de armazenamento d'água, o incremento de poluentes químicos, e gerando prejuízos para o abastecimento e produção de energia.

2.3.3 FATORES NATURAIS INFLUENTES DA EROSÃO

Com a deflagração dos processos erosivos, em função da ocupação do solo, estes são comandados por diversos fatores relacionados às condições naturais dos terrenos, destacando-se: a chuva, a cobertura vegetal, a topografia e os tipos de solos.

2.3.3.1 Chuva

Sua ação erosiva depende da distribuição pluviométrica, mais ou menos regular, no tempo e no espaço, e de sua intensidade. Chuvas torrenciais ou pancadas de chuvas intensas, como tromba d'água, constituem a forma mais agressiva de impacto da água no solo. Durante esses eventos, a aceleração da erosão é máxima.

O índice que expressa a capacidade da chuva de provocar erosão é conhecido como erosividade. Quando os outros fatores que provocam a perda de solos por erosão são mantidos constantes, a erosividade é proporcional ao produto da energia cinética total das gotas de chuva e sua intensidade máxima em trinta minutos. Esse produto obtido experimentalmente (SALOMÃO et alii, 1995) é considerado a melhor relação encontrada para medir a potencialidade erosiva da chuva ou erosividade.

2.3.3.2 Cobertura Vegetal

A cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno contra a erosão. Entre os principais efeitos da cobertura vegetal, (SALOMÃO et alii, 1995) destacam os seguintes:

- a) proteção contra o impacto direto das gotas de chuvas;
- b) dispersão e quebra da energia das águas de escoamento superficial;
- c) aumento da infiltração pela produção de poros no solo por ação das raízes;
- d) aumento da capacidade de retenção de água pela estruturação do solo por efeito da produção e incorporação de matéria orgânica.

2.3.3.3 Topografia

A influência da topografia do terreno na intensidade erosiva verifica-se principalmente pela declividade e comprimento de rampa (comprimento da encosta). Estes fatores interferem diretamente na velocidade das enxurradas.

2.3.3.4 Solos

As propriedades físicas do solo, principalmente textura, estrutura, permeabilidade, e densidade, e as características químicas, biológicas e mineralógicas, exercem diferentes influências na erosão, ao conferir maior ou menor resistência à ação das águas.

A textura, ou seja, o tamanho das partículas, influi na capacidade de infiltração e de absorção da água de chuva, interferindo no potencial de enxurradas do solo, e em relação à maior ou menor coesão entre as partículas. Assim, solos de texturas arenosa são normalmente porosos, permitindo rápida infiltração das águas da chuva, dificultando o escoamento superficial; entretanto, como possuem baixa proporção de partículas argilosas, que atuam como uma ligação entre as partículas maiores, apresentam maior facilidade para a remoção das partículas, que se verifica mesmo em pequenas enxurradas.

A estrutura, ou seja, o modo como se arranjam as partículas do solo, igualmente à textura, influi na capacidade de infiltração e absorção da água de chuva, e na capacidade de arraste de partícula do solo.

Assim, solos com estrutura micro – agregada apresentam alta porcentagem de poros e, conseqüentemente, alta permeabilidade, favorecendo a infiltração das águas de chuva; mostram também agregação entre partículas, aumentando a resistência do solo ao arraste de partícula pela ação das águas.

A permeabilidade determina a maior ou menor capacidade de infiltração das águas de chuva, estando diretamente relacionada com a porosidade do solo. Em geral, solos arenosos são mais permeáveis que solos argilosos, por serem mais porosos. Entretanto, em alguns casos, dependendo da estruturação, solos argilosos podem-se apresentar altamente porosos e até mais permeáveis que certos solos arenosos.

A densidade do solo, relação entre a sua massa total e volume, é inversamente proporcional à porosidade e permeabilidade. Por efeito de compactação

do solo, observa-se um aumento da densidade, como resultado da diminuição dos macro - poros; em função disto, o solo torna-se mais erodível.

2.3.4 CONTROLE DA EROSÃO EM ÁREAS RURAIS

O controle da erosão em terras rurais é muito complexo por envolver questões tanto de ordem técnica como socioeconômicas, e que devem ser conjuntamente avaliadas visando à adoção de uma política agrícola que contemple a manutenção ou aumento do potencial produtivo das terras. No que se refere às questões técnicas, destacam-se como fundamental a utilização adequada de práticas agrícolas de conservação do solo, a adoção de medidas contra a erosão associada a estradas, e o fornecimento de subsídios visando ao planejamento da ocupação agrícola através da elaboração de mapas de capacidade de erosão das terras.

Este último item será o principal tema abordado neste trabalho, quando será mostrado o mapeamento temático das declividades, sendo as classes separadas conforme a classificação de classe de ocupação de uso do solo.

2.3.5 NOÇÕES SOBRE CAPACIDADE DE USO DA TERRA

A capacidade de uso da terra pode ser caracterizada como a sua “adaptabilidade para fins diversos, sem que sofra depauperamento pelos fatores de desgaste e empobrecimento” (SALOMÃO et alii, 1995).

O método de elaboração de mapa de classes de capacidade de uso das terras foi originalmente estabelecido nos Estados Unidos da América do Norte (SALOMÃO et alii, 1995), com finalidade de utilização no planejamento de práticas de conservação do solo, tendo em vista o controle da erosão, podendo, entretanto, ser utilizado como subsídios ao planejamento agrícola de forma mais ampla.

O método de classificação normalmente utilizado baseia-se na análise integrada das características físicas e da fertilidade do solo, características topográficas do terreno e de suscetibilidade à erosão. A ponderação destas características permite a distinção de oito classes de capacidade de uso da terra, sendo quatro cultiváveis, três cultiváveis apenas em casos especiais de algumas culturas permanentes e adaptadas, em geral, para pastagens ou reflorestamento, e uma imprópria para produção agrícola.

GRUPO A: Terras aptas a cultivos intensivos anuais, culturas perenes, pastagens e reflorestamentos.

Classe I – Sem problemas especiais de conservação. Caracterizam-se por apresentar solos profundos; boa retenção de água; média a alta fertilidade e declividade inferior a 3%; não suscetível à erosão.

Classe II – Problemas simples de conservação. Caracterizam-se por apresentar solos profundos; boa retenção de água; média fertilidade; declividade de 3 a 6%; baixa suscetibilidade à erosão.

Classe III – Problemas complexos de conservação. Caracterizam-se por apresentar solos profundos; alta a baixa retenção de água; alta a baixa fertilidade; declividade de 6 a 12%; baixa a moderada suscetibilidade à erosão.

Classe IV – Problemas complexos de conservação. Caracterizam-se por apresentar solos profundos a rasos; alta a baixa retenção de água; alta a baixa fertilidade; declividade de 12 a 20%; moderada suscetibilidade à erosão.

GRUPO B: Terras impróprias para cultivos, mas adaptadas para pastagem e reflorestamento.

Classe V – Sem problemas de conservação, mas necessário à adoção de técnicas especiais de cultivo. Caracterizam-se por apresentar solos rasos; maldrenados; declividade inferior a 3%; não suscetível a erosão.

Classe VI – Problemas complexos de conservação. Caracterizam-se por apresentar solos rasos a medianamente profundos; baixa fertilidade; declividade de 12 a 20%; moderada a alta suscetibilidade à erosão.

Classe VII – Problemas complexos de conservação. Caracterizam-se por apresentar solos rasos a medianamente profundos; baixa fertilidade; declividade superior a 20%; alta suscetibilidade à erosão.

GRUPO C: Terras indicadas somente para preservação.

Classe VIII – Problemas complexos de conservação; são constituídas por terrenos áridos, muito acidentados, pedregosos, ou encharcados.

2.3.6 SUSCETIBILIDADE À EROSÃO

A suscetibilidade ao desenvolvimento de processos erosivos pode ser avaliada com a utilização de diferentes procedimentos metodológicos. Em geral, pode-se distinguir metodologias que buscam a quantificação das perdas de solo por erosão, e metodologias que buscam a avaliação qualitativa do comportamento erosivo dos terrenos. Por outro lado, nos estudos de suscetibilidade à erosão, deve-se tratar diferentemente os processos erosivos por escoamento laminar ou difuso e por concentração de fluxos d'água (ravinas e voçorocas), por se constituírem de processos erosivos que envolvem mecanismos e condicionantes muito diversos.

2.4 Modelo Digital de Terreno

O modelo digital de terreno (MDT) é o termo genérico empregado para referir-se ao modelamento matemático de superfícies. Pode-se definir modelo digital de terreno como sendo um conjunto de pontos amostrados da superfície real, com coordenadas espaciais (X, Y, Z) determinadas num dado referencial e algoritmos que possibilitem construir um modelo matemático que reproduza da melhor maneira possível o comportamento altimétrico da superfície real (MITISHITA, 1997).

A utilização prática de um MDT, até bem pouco tempo atrás, limitava-se a poucas aplicações na área de cartografia como o traçado de curvas de isovalores ou a geração de perfis altimétricos para a retificação diferencial de uma aerofoto. Contudo, com o desenvolvimento de computadores com maior velocidade de processamento e maior capacidade de armazenamento das informações, tem-se utilizado do MDT, para a resolução de diversos problemas de engenharia que necessitam de informações do comportamento altimétrico de uma dada superfície.

2.4.1 CONCEITUAÇÃO BÁSICA SOBRE M.D.T.

Conforme (MITISHITA, 1997), o processo de modelagem matemática de superfícies (MDT) envolve três etapas básicas de trabalho a seguir apresentadas:

- a) Obtenção de informações da superfície real que possibilitem a caracterização matemática do modelo;
- b) Elaboração do modelo matemático, composto por estruturas de dados e funções de interpolação que simulem o comportamento da superfície real;
- c) Utilização do modelo em substituição à superfície real.

A figura 01 mostra o fluxo das fases de trabalho envolvidas na utilização de um MDT.

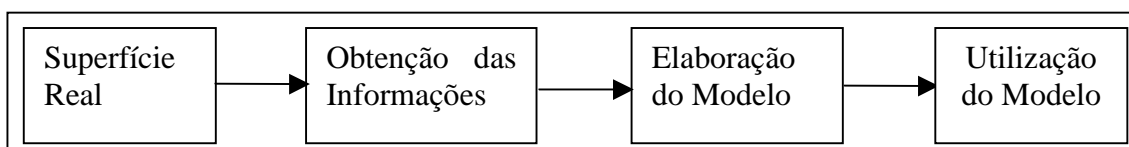


FIGURA 01 – Fases de trabalho necessárias ao processo de modelamento matemático de superfícies

2.4.2 OBTENÇÃO DAS INFORMAÇÕES DA SUPERFÍCIE REAL

A obtenção das informações da superfície real para fins de modelamento matemático de superfícies, consiste em levantar por uma técnica de amostragem um certo número de pontos com coordenadas espaciais (X, Y, Z). O processo de amostragem não pode ser conduzido de forma casual. A escolha de pontos deve ser realizada de maneira que o conteúdo informativo dos mesmos represente o comportamento estrutural da superfície real. A correta definição dos pontos amostrados constituem a base de funcionamento dos algoritmos matemáticos utilizados na interpolação matemática de “alturas”.

Os pontos com suas coordenadas espaciais podem ser obtidos com base nas seguintes técnicas:

- a) Levantamentos topográficos e geodésico;
- b) Fotogrametria;
- c) Digitalização vetorial de curvas de nível em mapeamentos analógicos;

d) Transformação de curvas de nível digita, em formato vetorial, para pontos com coordenadas espaciais.

Cada umas destas técnicas possuem vantagens e desvantagens quando comparadas com as precisões obtidas as coordenadas, facilidades e tempo de execução dos trabalhos. Para a escolha de uma das técnicas deve ser levado em conta, basicamente o tipo de aplicação a que se destina o MDT.

2.4.3 AMOSTRAGEM DE PONTOS EM FORMA DE PERFIS

A perfilagem de dados é uma das técnicas mais empregada para a obtenção de informações espaciais para fins de modelamento matemático de superfícies. O processo consiste em obter pontos representativos de relevo na região de estudo, de maneira que os mesmos sejam amostrados de acordo com linhas sobrepostas à superfície.

2.4.3.1 Perfilagem Regular

Assume-se que os pontos são coletados em forma de uma matriz, onde os espaçamentos entre linhas e colunas são previamente determinados, conforme mostra a figura 02. Na prática, esta forma de amostragem de dados é quase sempre realizada em restituidores fotogramétricos analíticos que possibilitam de maneira automatizada, a captura de pontos em intervalos de distâncias predefinidas (malha regular).

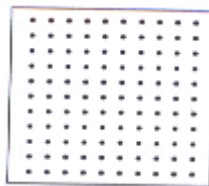


FIGURA 02 – Amostragem em forma de perfis regulares

2.4.3.2 Perfilagem Irregular

Consiste na forma mais genérica de amostragem de dados por aerofotogrametria e topografia. Neste processo não se leva em conta o exato espaçamento de pontos no perfil ou entre perfis, conforme mostrado na figura 03. Os

intervalos aproximados entre pontos amostrados no perfil e entre perfis são definidos em função do tipo de relevo existente na região amostrada.

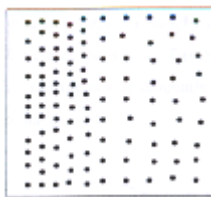


FIGURA 03 – Amostragem em forma de perfis irregulares

2.4.3.3 Amostragem de Pontos Independentes

A forma de amostragem de pontos independentes, preocupa-se em observar a descontinuidade de relevo, existente na superfície amostrada. Observa-se pontos ao longo de rios, declives, picos, estradas, taludes, ravinas, linhas de drenagem, etc. A figura 04 mostra a distribuição espacial de pontos com este tipo de amostragem.

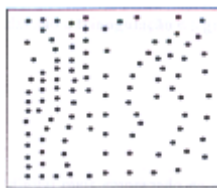


FIGURA 04 – Forma de amostragem de pontos independentes.

2.4.3.4 Amostragem com Perfis Irregulares e Pontos Independentes

Esta é a forma mais eficiente para a obtenção das informações para fins de modelagem de superfícies. Coleta-se pontos na forma de perfis irregulares, como apresentado no item 2.4.3.2, e nas regiões de descontinuidade de relevo é realizada a amostragem de pontos independentes.

2.4.4 ELABORAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

Conforme (MITISHITA, 1997), a elaboração do modelo matemático de uma superfície consiste no agrupamento dos pontos que descrevem a superfície real, em unidades lógicas denominadas de estruturas de dados e na determinação de funções de interpolação, de forma que todo o conjunto simule de modo idealizado o comportamento da superfície original.

Existem vários processos na elaboração de modelos digitais. De forma geral, os pontos amostrados são interligados formando polígonos e estes formando um poliedro. Desta maneira, a superfície é aproximada por um modelo que é um poliedro cujos vértices são os pontos amostrados. Pode-se ter diferentes classes de poliedros, sendo que as duas mais empregadas são a triangulação e a grade retangular.

2.4.4.1 Triangulação

Triangulação é o modelo digital mais empregado na representação matemática de superfícies. Consiste num poliedro de faces triangulares, onde os vértices dos triângulos são os pontos amostrados na superfície. Estes pontos são classificados como pontos interiores quando são totalmente rodeados por triângulos e pontos exteriores quando são unidos dois a dois formando uma linha poligonal fechada que delimita a área a ser modelada (região de interesse), conforme mostrado na figura 05.



FIGURA 05 – Modelo digital de triangulação.

O primeiro procedimento na construção de uma triangulação é delimitar a região de interesse. Verifica-se que esta fronteira não é única, pois existe um número elevado de possíveis regiões de interesse. De todas as possíveis regiões de interesse, existirá somente uma que define um polígono convexo. Esta fronteira convexa é a que é empregada para delimitar a triangulação. A construção da fronteira convexa é objeto de estudos de vários autores. Em (MITISHITA, 1997), é apresentado um algoritmo de construção.

O segundo procedimento é a realização da triangulação propriamente dita. Consiste na união dos pontos amostrados dois a dois formando triângulos. Verifica-se que uma triangulação não é única. Conforme (MITISHITA, 1997), para uma quantidade de pontos interiores i e uma quantidade de pontos exteriores e existirá um número n de quantidade de triangulações distintas.

$$n = \frac{2 \cdot (2 \cdot e - 3)! \cdot (4 \cdot i + 2 \cdot e - 5)!}{(e - 1)! \cdot (e - 3)! \cdot (3 \cdot i + 2 \cdot e - 3)!}$$

Apesar das diferentes triangulações possíveis, todas apresentam o mesmo número de arestas A e de Triângulos T (MITISHITA, 1997).

$$A = 2 \cdot e + 3 \cdot (i - 1) \qquad T = e + 2 \cdot (i - 1)$$

Nem todas as triangulações possíveis prestam-se bem para a tarefa de modelamento de superfícies. Deve-se escolher uma onde não haja abundância de triângulos excessivamente longos e afinado (MITISHITA, 1997), de todas as diferentes triangulações de um mesmo conjunto de pontos, existe uma que satisfaz a exigência apresentada anteriormente. Esta triangulação é conhecida como triangulação de Delaunay.

O procedimento para a geração da triangulação de Delaunay está baseado na propriedade do circuncírculo (MITISHITA, 1997), podendo ser definido por:

Seja $P = \{p_i (X_i, Y_i), i=1, n\}$ um conjunto de pontos amostrados e $T = \{\Delta p_i, p_j, p_k \mid p_i, p_j, p_k \in P\}$ uma triangulação qualquer. T será uma triangulação de **Delaunay** de P se e somente se em cada triângulo $\Delta p_i, p_j, p_k \in T$ não existirem pontos internos ao circuncírculo p_i, p_j, p_k ou ao círculo definido pelos pontos p_i, p_j, p_k . A figura 06 mostra de forma mais clara esta propriedade.

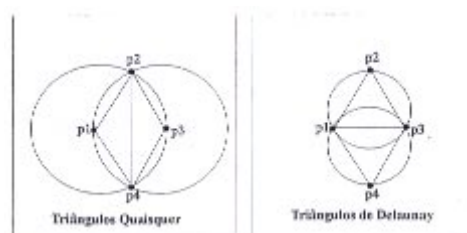


FIGURA 06 – Propriedade do circuncírculo na definição de triângulos de Delaunay.

O algoritmo para geração da triangulação de Delaunay em um conjunto de pontos amostrados é apresentado em (MITISHITA, 1997).

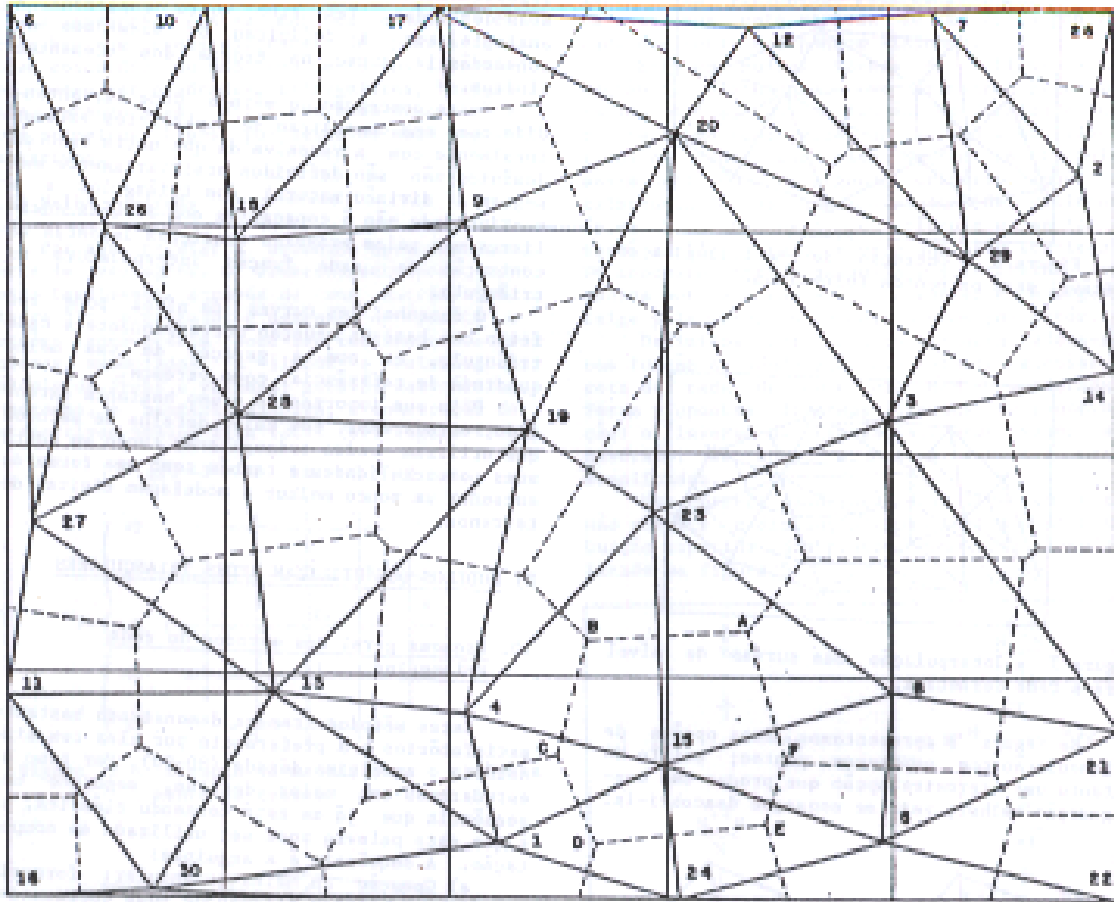


FIGURA 07 – Triangulação de Delaunay (linhas cheias) e poligonação de Voronoi (linhas tracejadas).

Apresentamos acima um exemplo gráfico da triangulação de Delaunay (Figura 07), em que se apresenta também a figura dual, os polígonos de Voronoi que determinam regiões do plano mais próximas de um vértice do que de outro qualquer.

Concentremos a atenção no ponto 15 para ter uma idéia da construção do polígono de Voronoi e sua relação com a triangulação de Delaunay. Este ponto é considerado o núcleo da célula, e seus vizinhos imediatos são: 5, 8, 23, 4, 1 e 24. Traçando a mediatriz de 15-23, obtemos a linha AB e repetindo o processo para todos os vizinhos de 15 definimos o polígono completo A-F, podendo-se notar que qualquer ponto interior a ele está mais próximo de 15 do que de qualquer outro vértice.

As arestas AF, BA, CB, etc., são as arestas de Voronoi, perpendiculares às de Delaunay: 15-8, 15-23, 15-4, etc. As células que contém 8, relação à que contém o ponto 15. Podemos verificar também que cada ponto de Voronoi (A, B, C...) corresponde ao circuncentro de um triângulo de Delaunay; por exemplo, A é o circuncentro do Triângulo 15, 8 e 23.

A triangulação de Delaunay é uma das poucas matematicamente tratáveis e suas aplicações são inúmeras nas diversas áreas: geografia, pluviometria, cristalografia, estatística, biologia, astronomia, urbanismo. Interessa-nos como uma boa forma de subdividir o plano em sub-regiões triangulares onde se definem interpolações.

2.4.4.2 Malha Regular

A malha regular é um modelo digital que aproxima a superfície real através de um poliedro de faces retangulares. Os vértices dos retângulos podem ser os próprios pontos amostrados por perfilagem regular ou obtidos por um processo de interpolação, caso se tenha pontos amostrados de modo não regular.

Uma das considerações importantes a respeito da grade regular é o espaçamento a ser estabelecido entre os seus elementos. Valor excessivamente pequeno proporciona um aumento na fidelidade do modelamento em regiões de comportamento irregular, mas nada oferece em regiões regulares, com aumento significativo de tempo de processamento. Por outro lado, um valor grande, diminui o tempo de processamento, mas perde a fidelidade em regiões de comportamento irregular.

Em certas aplicações a malha regular apresenta vantagens, quando comparada com a malha triangular, mas em outras a malha triangular é superior. Para atender as diversas tarefas, os sistemas de MDT apresentam ambas as soluções, ficando para o usuário a opção da escolha do método, que se dá, geralmente, em função do tipo de trabalho a ser realizado.

Um dos procedimentos mais empregados em várias aplicações de modelamento é a obtenção da malha regular a partir da malha triangular. Isto ocorre devido as dificuldades de amostragem de uma malha regular tanto nos equipamentos fotogramétricos analógicos como nos levantamentos topográficos convencionais.

2.4.4.3 Funções de Interpolação

O modelamento de uma superfície não consiste somente na construção de um modelo digital poliédrico. O sistema deverá possuir algoritmos de interpolação de valores de “alturas”, em posições não correspondentes aos pontos amostrados. Os algoritmos devem conter certas condições de contorno, baseadas no princípio de que o

comportamento de uma superfície contínua possa ser derivada do comportamento conhecido de posições próximas (MITISHITA, 1997). Geralmente, são empregados processos de interpolação que utilizam-se de uma vizinhança ilimitada de pontos, denominada de global, ou uma vizinhança limitada que é conhecida como local.

Métodos Baseados em Vizinhança Global

Este método é facilmente compreendido, pois o interpolante é dependente de todos os pontos amostrados na superfície. A inclusão, retirada ou alteração das coordenadas de qualquer ponto propaga-se por toda a região de interesse. A influência de cada ponto no algoritmo é ponderada pela distância que o mesmo se encontra do ponto a ser interpolado.

Dentre as principais funções de interpolação conhecidas, podemos apresentar a seguinte divisão:

- a) Funções que interpolam a partir de superfícies matemáticas;
- b) Funções que interpolam a partir de pontos discretos.

Funções que interpolam a partir de superfícies matemáticas

Neste caso, usualmente, emprega-se polinômios bivariados, onde a altura é dada em função das coordenadas planimétricas do ponto a interpolar.

$$Z(x, y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} a_{ij} x^i y^j$$

Z = Coordenada altimétrica;
n = Grau do polinômio;
a_{ij} = Parâmetros do polinômio;
X, Y = Coordenadas planimétricas.

Conforme (MITISHITA, 1997), o número N de coeficientes num polinômio de grau n é dado por:

$$N = (n + 1) \cdot (n + 2) / 2$$

Para cada ponto amostrado, tem-se uma equação. Com N pontos conhecidos determina-se os parâmetros de polinômio. Teoricamente, sempre é possível passar uma superfície por um conjunto de N pontos.

Na prática, algumas considerações devem ser observadas:

- a) Um número grande de pontos amostrados requer um polinômio de grau elevado, exigindo computadores com grande capacidade de memória para determinação dos parâmetros;
- b) Polinômios de graus elevados apresentam dificuldade na determinação dos parâmetros;
- c) Polinômios de graus elevados possuem o inconveniente de fasearem completamente a superfície em locais onde a densidade de pontos amostrados é menor;
- d) A determinação dos parâmetros, sem um processo que possibilite a detecção de erros grosseiros, pode levar a uma superfície inconsistente com a realidade física.

A utilização de polinômio de terceiro grau, nas aplicações práticas deste tipo de modelamento, tem apresentado bons resultados. A formulação matemática deste polinômio pode ser dada por:

$$Z(x, y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^{3-i} a_{ij} x^i y^j$$

Funções que interpolam a partir de pontos discretos

Estas funções são baseadas na média ponderada. A mais aplicada neste caso é o método da distância inversa ponderada que aproxima a superfície por uma função $F(X, Y)$. Conforme (MITISHITA, 1997), tem-se:

$$F(X, Y) = \frac{\sum_{k=1}^n \omega_k \cdot f(k)}{\sum_{k=1}^n \omega_k}$$

$$F(X, Y) = f(k), \text{ para } (X, Y) = (X_k, Y_k)$$

$$\omega_k = d_k^{-\mu}$$

$$d_k = \sqrt{(X - X_k)^2 + (Y - Y_k)^2}$$

O valor de μ geralmente é tomado como sendo igual a -2 , entretanto em muitos casos utiliza-se $\mu=-4$, pois nem sempre o valor -2 é adequado por atribuir influência grande nos pontos afastados.

Um dos inconvenientes desta metodologia é o aparecimento de áreas planas ao redor de cada ponto amostrado. Isto se dá pelo fato das derivadas de primeira ordem da função em relação a X e Y serem iguais a zero.

Este problema pode ser atenuado com a utilização do seguinte modelo alternativo:

$$F(X, Y) = \frac{\sum_{k=1}^n \omega_k \cdot L(k)}{\sum_{k=1}^n \omega_k}, \text{ para } (X, Y) \neq (X_k, Y_k)$$

$$F(X, Y) = f(k), \text{ para } (X, Y) = (X_k, Y_k)$$

$$L(k) = f(k) + \frac{\partial f}{\partial X}|_k \cdot (X - X_k) + \frac{\partial f}{\partial Y}|_k \cdot (Y - Y_k)$$

Os valores das derivadas parciais da função em relação a X e Y nos pontos amostrados, devem ser obtidos por um procedimento aproximativo. O mais empregado é o de ajustar por M. M. Q. uma superfície quádrlica no ponto k e pontos vizinhos a este, e utilizar as derivadas parciais deste modelo.

3 CRIAÇÃO E ANÁLISE DE MAPAS TEMÁTICOS

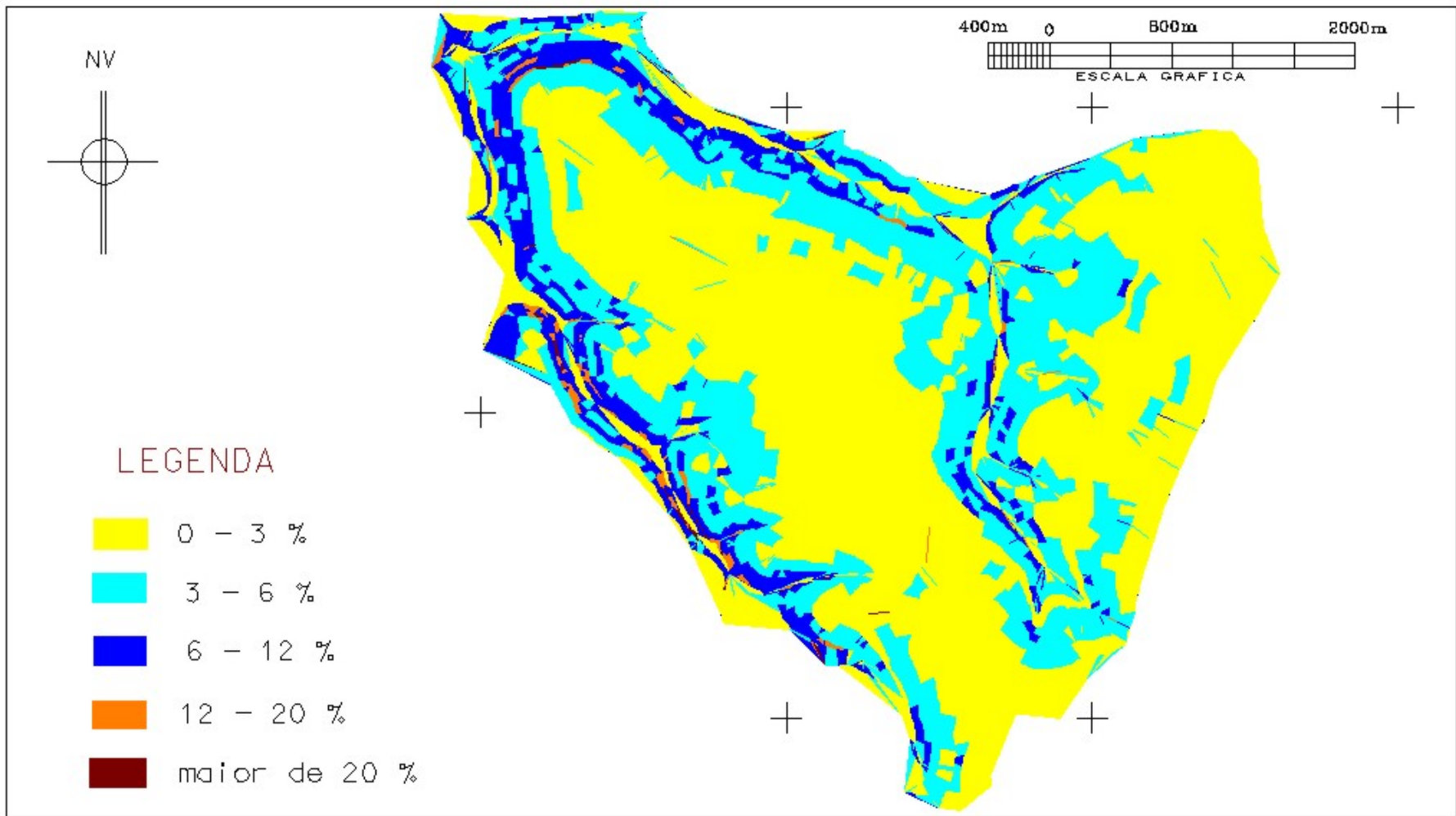
Os mapas temáticos são representações gráficas de atributos quantificados, da ocorrência de variáveis ou de uma combinação delas no espaço geográfico. Estes mapas permitem então, a visualização espacial dos fenômenos estudados, sendo de vital importância para a análise e entendimento dos mesmos.

O GeoTerrain, além de criar o Modelo Digital de Terreno e possibilitar sua edição, enquanto componente de um Sistema de Informações Geográfica, disponibiliza funções de geração de diversos mapas temáticos a partir deste modelo.

Especificamente com relação a altimetria, a partir do arquivo TIN pode-se gerar mapas de elevação ou altitude, ou utilizar o arquivo LAT para geração de mapas de declividades. Nos dois casos o usuário pode definir os intervalos conforme seu estudo.

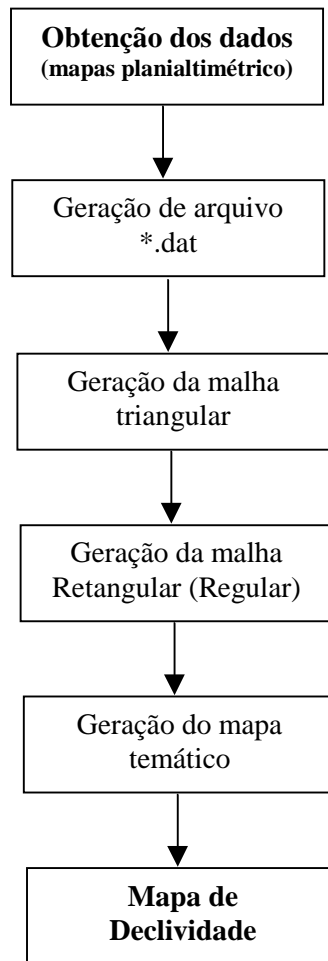
Para mapeamento temático da capacidade de uso do solo, onde analisaremos a suscetibilidade da erosão, a geração de mapas de declividades é um fator muito importante, pois permite a visualização das áreas mais susceptíveis à erosão.

Para análise dos sinistros dentro da atividade florestal, foi gerado o mapa de declividade (MAPA 3), onde mostra as classes de declividade conforme a classificação já citado neste trabalho.



MAPA 3 - Mapa de Declividade

FLUXUGRAMA DA METODOLOGIA



4 CONCLUSÕES E CRÍTICAS

Depois de gerado o mapa de declividade, foi feita a análise conforme a classificação da capacidade de uso da terra, que no presente trabalho referimos a extração de madeira sustentável (reflorestamento), e utilizando a mesma classificação podemos fazer uma análise conforme o tipo de solo, citado também no início deste trabalho, onde teremos áreas mais suscetíveis ou não ao processo erosivo.

Conforme a classificação do solo da área em estudo, podemos dizer, que entre os grupos mencionados na classificação da capacidade do uso da terra, o que mais aproxima da região é o grupo B, sendo terras que possuem solos poucos desenvolvidos, passando a ser impróprias para cultivos, porém adaptadas para reflorestamento, que é o nosso caso. Analisando as classes do grupo B, onde temos as classes V, VI, e VII; e relacionando com o mapa de declividades relacionadas a cada classe.

O mapa de declividade foi gerado conforme as variações de declividade para todos os grupos, sendo que temos sete classes distintas, porém algumas repetem as variações de declividade. Dentro do grupo B, e comparando as classes com o mapa de declividade podemos ver que a faixa que vai até 3% é a de maior cobertura, levando a conclusão que a maior parte da área é plana e não suscetível à erosão. Como no grupo B não existe classe com declividades entre 3% e 12%, mas podemos fazer uma análise acima das classes do grupo A, desconsiderando o tipo de solo e sua profundidade, podemos ver que esta classe classifica a suscetibilidade à erosão. Na área de ocorrência destas declividades podemos observar uma faixa que refere-se a um curso d'água, podendo ser uma vereda ou até mesmos um pequeno córrego, levando a ter uma observação mais crítica nesta área, por ser uma área de preservação.

Como já citado que a maior parte da área é plana, poucas áreas foram observadas na faixa de 12% a 20% e na faixa maior que 20%, porém apesar de serem pequenas, são áreas que influenciam relativamente na suscetibilidade à erosão. Nestes casos os cuidados são redobrados, sendo que nestas pequenas áreas devem ser feitos estudos mais completos, levando em consideração o tipo de vegetação, intensidades das chuvas, solo além da topografia, já mencionado neste trabalho.

A flexibilidade alcançada por aplicativos integrando tecnologias voltadas para a cartografia e fotogrametria digital, dentro de um ambiente SIG oferece novas perspectivas para o estabelecimento, implementação e monitoramento de gestão de

políticas preventivas de sinistros visando a redução dos impactos gerados nas atividades do trato florestal.

O presente trabalho mostrou aplicações do uso de ferramentas dos SIGs para mapear áreas com classes de declividades para tomada de decisão da capacidade de uso da terra e suas suscetibilidades ao processo erosivo, sendo que o mesmo mapeamento analisado de outras formas e associados a outros bancos de dados podem conter várias aplicações dentro da área de atividade florestal, como estudo de bacias hidrográficas, manejo florestal, prevenção de incêndio florestal, estudos de preservação ligados ao meio ambiente, sendo que algumas leis exigem que determinadas áreas com maiores declividades sejam preservadas e que a associação de levantamento aéreo com as técnicas do geoprocessamento podem levar a tomada de decisões mais rápidas e precisas, sendo que na maioria das vezes o custo se torna pequeno diante dos benefícios adquiridos.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Laci Mota. **Sistemas de Informação Geográfica como Instrumentos para o Planejamento de Uso da Terra, em Bacias Hidrográficas.** Viçosa: UFV, 1993. 112p.

CINTRA, Jorge Pimentel. **Modelos digitais do terreno.** In: I Congresso de Geoprocessamento . 1990 São Paulo – SP, USP, p. 53-65.

GÓES, Kátia. **Autocad Map – Explorando as ferramentas de mapeamento.** Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2000.

MACHADO, Maria Márcia Magela. **Contribuição do Uso do SIG na Análise de Projetos de Parcelamento do Solo.** UFMG, 1999, Belo Horizonte, 32p.

MITISHITA, Edson Aparecido. Tese de Doutorado. UFPR, Curitiba – Paraná, 1997, p. 80-85.

MOURA, Ana Clara Mourão. **Cartografia Digital – O uso do software MicroStation.** UFMG, Belo Horizonte, 8p.

PEREIRA, Fernando Dias. **Alternativas (de baixo custos) de Mapeamento Digital para SIG.** Artigo publicado em revista.

REVISTA VER DE DENTRO. **Órgão Oficial de Divulgação da Associação dos Servidores do Instituto Estadual de Florestas.** Ano III, nº 01, junho de 1998.

SALOMÃO, Fernando Ximenes T. IWASA, Oswaldo Yujiro. **Erosão e a Ocupação Rural e Urbana.** In: BITAR, Osmar Yazbek. **Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente.** São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, I.P.T, Divisão de Geologia, 1995, p. 31-57.