

JANE ROLIM REIS

**MODELO DIGITAL DE TERRENO:
UMA APLICAÇÃO PRÁTICA EM UM PROJETO
DE LOTEAMENTO**

**GEOPROCESSAMENTO 2003
VI CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO**



**DEPARTAMENTO DE CARTOGRAFIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
UFMG**

JANE ROLIM REIS

**MODELO DIGITAL DE TERRENO:
UMA APLICAÇÃO PRÁTICA EM UM PROJETO
DE LOTEAMENTO**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geoprocessamento, Departamento de Cartografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de especialista em Geoprocessamento.

Orientador: Prof. Marcos Antônio Timbó Elmiro

**BELO HORIZONTE
2003**

REIS, Jane Rolim.

Modelo Digital de Terreno: Uma aplicação prática em um projeto de loteamento. Belo Horizonte, 2003.

vii, 35 f., il.

Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2003.

1. Geoprocessamento. 2. Modelo Digital de Terreno. 3. MDT. 4. Maquete Eletrônica - I. Título

DEDICATÓRIA

À minha querida amiga e irmã Yone, que não está mais tão perto de nós.

Pela sua astúcia, pela sua coragem, pela sua liderança, pelo seu amor incondicional, pela sua busca incessante atrás dos seus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Ao Marcinho, meu marido, pela compreensão e incentivo.

Às minhas filhas, Rafaela e Fernanda, pela paciência e colaboração na minha ausência.

Aos meus pais, pelo afeto e incentivos constantes.

Ao projetista Wilde Diniz, pelo maravilhoso exemplo de trabalho com amor e perfeição.

Aos meus colegas do curso, pelo apoio e companhia.

Ao meu orientador, Timbó, pela atenção e carinho.

Ao Walter Waltenberg, pela oportunidade e colaboração.

À Deus, que sempre me deu força nos momentos em que mais precisei.

SUMÁRIO

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

	Página
1. Introdução	1
1.1. Objetivos	1
1.2. Justificativa	2
2. Fundamentos Teóricos	3
2.1. Conceitos	3
2.1.1. Isolinhas	4
2.1.2. Declividade	4
2.1.3. Perfil	5
2.1.4. Volume	5
2.1.5. Amostragem por pontos	6
2.1.6. Amostragem por Isolinhas	7
2.1.7. Grade Regular ou Matriz de Elevação	7
2.1.8. Grade Triangular	8
3. Materiais e Métodos	10
3.1. Projeto Original	10
3.2. Localização da área	11
3.3. Solicitação do Projeto	14
3.4. Criação dos Desenhos	15
3.5. O projeto de uma estrada	24
4. Resultados	26
4.1. Modelo Tridimensional com luz solar ativada	26
4.2. Maquete Eletrônica	27
5. Discussão dos Resultados	30
6. Conclusões	33
7. Considerações Finais	34
Referências Bibliográficas	35

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Perfil de um terreno ilustrando o volume de corte (+) e o volume de aterro (-) em relação ao plano horizontal Z.	6
Figura 2: Modelo de superfície gerado por uma grade regular.	8
Figura 3: Modelo de superfície gerado por grade triangular.	9
Figura 4: Imagem de satélite Landsat7, 2000 com visualização do Brasil e localização do estado de Rondônia, realçando a cidade de Porto Velho.	12
Figura 5: Imagem de satélite Landsat7, 2000 realçando a cidade de Porto Velho e a hidrografia do entorno.	13
Figura 6: Imagem de satélite Landsat7, 2000 realçando área do loteamento no retângulo.	15
Figura 7: Imagem raster com as curvas de nível.	16
Figura 8: Arquivo Jcurvas2d.dgn com as curvas de nível em duas dimensões.	17
Figura 9: Arquivo Jarruamento2d.dgn com a visualização do arruamento.	18
Figura 10: Arquivo Jlotes2d.dgn com os lotes e arruamento.	18
Figura 11: Tela de entrada de parâmetros para geração do arquivo DAT.	19
Figura 12: Trecho inicial do arquivo DAT com dados das curvas de nível e altitude do loteamento, gerados no programa Geoterrain.	20
Figura 13: Arquivo Jtin.dgn com a triangulação do arruamento.	20
Figura 14: Arquivo Jtin.dgn com a triangulação do terreno.	21
Figura 15: Arquivo Jtin.dgn com detalhe da triangulação do terreno.	21
Figura 16: Arquivo Jmodelagem.dgn com a triangulação do terreno.	22
Figura 17: Arquivo Jmdt.dgn com a triangulação do terreno e sobreposição do arruamento.	23
Figura 18: Vista de topo do MDT do loteamento.	24
Figura 19: Arquivo com vista do acesso do loteamento pela BR 364.	26
Figura 20: Vista panorâmica do acesso pela BR 364.	27
Figura 21: Vista aérea parcial da urbanização	28
Figura 22: Seção típica das vias internas.	28
Figura 23: Vista aérea parcial da área da lagoa.	29
Figura 24: Vista aérea da variante sugerida.	31
Figura 25: Seção do terreno na região do aterro acentuado.	31
Figura 26: Detalhe do aterro acentuado passível de alterações identificado pelo MDT.	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características do estado de Rondônia.	Página 12
Tabela 2: Características da cidade de Porto Velho.	13

RESUMO

Este trabalho tem o objetivo de apresentar as possibilidades que o Geoprocessamento oferece na produção de material visual para situações ligadas ao uso do Modelo Digital de Terreno na solução de problemas de engenharia civil, principalmente cálculo de volumes de corte e aterro.

O estudo foi elaborado a partir da análise de um projeto de loteamento no estado de Rondônia, município de Porto Velho. Os resultados são diversos mapas vetoriais em duas e três dimensões, incluindo Modelo Digital do Terreno e uma maquete eletrônica do loteamento.

Como vantagens da utilização de ferramentas de geoprocessamento na produção de material técnico e comercial, citam-se a existência de diversas camadas de informações, a diversidade de cores, texturas e símbolos que enriquecem o produto e a possibilidade de simulações variadas, proporcionando valiosas informações que embasem a comunidade, tanto os técnicos projetistas quanto o público em geral, em suas tomadas de decisões.

1 – INTRODUÇÃO

As recentes inovações tecnológicas atingem todos os aspectos da vida do homem contemporâneo. As novas possibilidades de comunicação demandam uma dinâmica de tempo e espaço que ultrapassam fronteiras. Nesse contexto, a imagem tem feito parte do nosso cotidiano como uma das ferramentas mais importantes da comunicação [VIEIRA, 2001].

As cartas, mapas e plantas topográficas tradicionais representando as curvas de níveis, não permitem fazer simulações e modelagens de relevo que forneçam respostas rápidas e precisas exigidas no nosso dia a dia tecnológico.

Para abordar a análise eficiente da variação contínua da altitude, por exemplo, alguns novos métodos vêm surgindo nos últimos anos. Há a tecnologia de Modelagem Digital de Elevações (MDE) ou Modelagem Digital de Terreno (MDT) que vem suprindo essa necessidade de visualização ágil e eficaz de uma paisagem ou terreno.

Uma das situações ligadas ao uso do MDT está no emprego desta metodologia para solução de problemas de corte, aterro e cálculo de volumes nos projetos de engenharia civil de uma forma geral. É o que vamos tratar nesse estudo, buscando confrontar o uso dessa ferramenta com a realização analógica de um projeto tradicional de terraplanagem.

1.1 - Objetivos

São objetivos desse estudo, além da pesquisa e comprovação de diversidade de uso das ferramentas de geoprocessamento:

- Analisar a metodologia de Modelagem Digital de Terreno no auxílio à engenharia civil, visando redução de custos na execução de um projeto de loteamento.
- Apresentar as possibilidades de uso que o geoprocessamento oferece na produção de material visual gráfico para o público em geral, em forma de maquete eletrônica.

1.2 - Justificativa

O uso de novas tecnologias para otimização de projetos tem sido uma constante nos dias atuais. Com objetivos diversos, além da facilidade de visualização, agilidade, interatividade, entre outros, podemos inserir nesse contexto a economia de recursos, principalmente financeiros, quando se trata de grandes obras.

A proposta de realizar este estudo surgiu do testemunho ocorrido em uma empresa de engenharia e arquitetura em Belo Horizonte, a ViaCad Projetos, no corrente ano, quando da solicitação de elaboração de um modelo visual em 3D de um determinado loteamento.

A priori, a solicitação de trabalho nada tinha a ver com previsão de cálculo de volumes para corte e aterro, nem mesmo havia a pretensão de se obter benefícios financeiros ligados à economia na execução do projeto executivo. Havia apenas o desejo de visualização tridimensional da área a ser loteada, para possível inserção de um empreendimento turístico no local.

No decorrer do trabalho, deparou-se, então, com uma série de divergências ao se comparar o projeto de loteamento elaborado de maneira convencional, pelos métodos tradicionais analógicos já conhecidos, e o mapeamento da declividade pelo Modelo Digital de Terreno. Constatou-se exagero e superdimensionamento em alguns aterros que serão analisados no decorrer deste estudo.

Entretanto, não podemos deixar de mencionar a existência de erro intrínseco a este tipo de mapeamento, uma vez que detalhes de feições podem não estar representados nas fontes de dados usualmente utilizadas em um projeto dessa natureza [BAETA, 1999].

2 - FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Para melhor entendimento da tecnologia utilizada nesse estudo, vamos adotar a definição de Modelo Digital de Terreno (MDT) como a representação matemática da distribuição contínua do relevo dentro de um espaço de referência, armazenada em formato digital adequado para utilização em computadores [TIMBÓ, 2003].

Os modelos digitais de terreno, também conhecidos como MDT, são utilizados para se obter informações relevantes sobre a superfície, sem a necessidade de se trabalhar efetivamente nela. Essas informações podem ter características visuais em caráter qualitativo ou quantitativo, como o cálculo de volumes de escavação e aterro.

O MDT gerado neste trabalho foi produzido através do Microstation Geoterrain, que utiliza o modelo de grades de pontos, podendo ser triangulares, quadradas, retangulares, hexagonais, etc. Os modelos que trabalham com grades regulares e triangulares são mais representativos, e, por isso, mais utilizados. Nesse ponto, torna-se conveniente uma breve explanação sobre essas duas estruturas e seus conceitos.

2.1 - Conceitos

Os dados de um modelo digital de terreno estão representados pelas coordenadas xyz , onde z , o parâmetro a ser modelado, é função de xy , ou seja: $z=f(x,y)$. Estes dados são usualmente adquiridos segundo uma distribuição irregular no plano xy , ou ao longo de linhas com mesmo valor de z ou mesmo com um espaçamento regular.

A aquisição destes dados é realizada por levantamentos de campo, digitalização de mapas, medidas fotogramétricas a partir de modelos estereoscópicos e dados altimétricos adquiridos através de GPSs, aviões e satélites. Entretanto, os produtos de MDT não são elaborados sobre os dados amostrados, mas sim do modelo gerado no formato de grade regular ou irregular. Estes formatos simplificam a implementação dos algoritmos de aplicação e os tornam mais rápidos computacionalmente.

Os métodos de aquisição de dados podem ser por pontos amostrados com espaçamento irregular e regular bem como por mapa de isolinhas.

2.1.1 - Isolinhas

As isolinhas são curvas que unem entre si pontos da superfície que tenham o mesmo valor de cota. Um mapa de isolinhas é a representação de uma superfície por meio de curvas de isovalor. O significado do valor da cota depende da magnitude física da superfície que se pretende modelar. Assim, para uma superfície que representa temperatura se obtém isotermas, para previsão atmosférica, as isóbaras; para altimetria do terreno, as curvas de níveis, etc.

As isolinhas podem ser visualizadas como sendo a projeção no plano **xy** das interseções entre a superfície e uma família de planos horizontais eqüidistantes.

As curvas de isovalores possuem algumas propriedades importantes: todas são fechadas, a menos que interceptem as fronteiras de definição do mapa e nunca se cruzam.

Isolinhas ou curvas de isovalores podem ser geradas a partir de um modelo digital de terreno na forma de grade retangular ou triangular utilizando o método das células. Neste método, para cada célula são geradas todas as curvas de isovalor que interceptam esta célula. Os segmentos de reta são armazenados para, em uma fase final, serem ligados formando uma curva fechada de isovalor (caso não atinjam a fronteira da região de interesse).

2.1.2 - Declividade

Declividade é a inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal. Considerando um modelo digital de terreno de dados altimétricos extraídos de uma carta topográfica e traçando um plano tangente a esta superfície num determinado ponto P, a declividade neste ponto corresponde à inclinação deste plano em relação ao plano horizontal.

2.1.3 - Perfil

Um dado do tipo MDT, como uma superfície topográfica, pode ser representado através de perfis que descrevem a elevação dos pontos ao longo de uma linha. O perfil é traçado a partir de uma trajetória definida pelo usuário ou a partir de linhas que correspondam a um dado de interesse como o possível traçado de uma nova estrada.

2.1.4 - Volume

A partir de um modelo digital de terreno é possível se calcular volumes dentro de uma região do espaço predeterminada. Delimitando-se de uma área, dentro de uma região de interesse, e definindo-se um plano horizontal de corte Z , onde Z é a cota de referência ou cota base, é possível calcular-se o volume de corte e o volume de aterro referente a esse plano base.

O cálculo do volume é efetuado nos polígonos fechados e grades retangulares ou triangulares do MDT. A partir de uma grade calcula-se o valor central de cada célula da grade, correspondente a altura, multiplicada pelo valor da área disponível. Dessa forma, o volume é dado pela seguinte equação:

$$V_t = A_c \sum_{i=1}^n Z_i$$

onde:

A_c = constante é o valor da área correspondente a cada célula;

Z_i = é o valor da altura de cada célula;

n = número de células.

Conforme foi dito, o volume de corte e o volume de aterro são calculados considerando uma cota base. Assim, os valores de cota acima da cota base contribuem para o volume de corte enquanto que os valores de cota abaixo da cota base contribuem para o volume de aterro [FELGUEIRAS, 1988]. Pode-se calcular também uma cota ideal para o plano horizontal, que igualaria os volumes de aterro e de corte. A cota ideal indica o valor onde o volume do desmonte a ser realizado na área de corte depositado na área de aterro mantém um equilíbrio de massas e é calculada por:

$$C_i = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i}{n}$$

onde:

Z_i = é o valor da altura de cada célula;

n = número de células.

A Figura 1 mostra o perfil de um terreno e as regiões que contribuem para os volumes de corte (-) e de aterro (+) segundo o plano base Z .

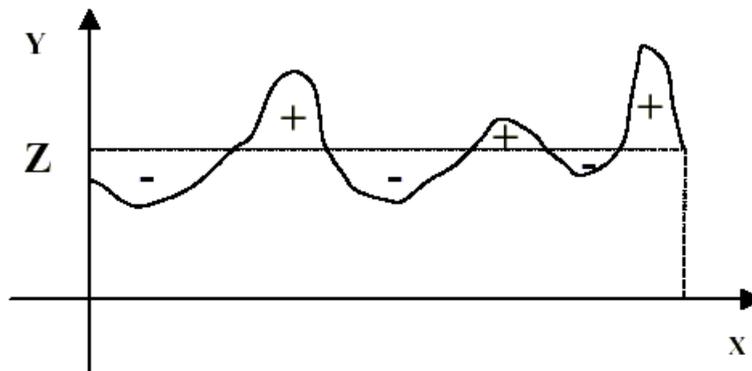


Figura 1: Perfil de um terreno ilustrando o volume de corte (+) e o volume de aterro (-) em relação ao plano horizontal Z .

2.1.5 - Amostragem por pontos

O cuidado na escolha dos pontos e a quantidade de dados amostrados estão diretamente relacionados com a qualidade do produto final de uma aplicação sobre o modelo. Para aplicações onde se requer um grau de realismo maior, a quantidade de pontos amostrados, bem como o cuidado na escolha desses pontos, ou seja, a qualidade dos dados é decisiva. Quanto maior a quantidade de pontos representantes da superfície real, maior será o esforço computacional para que estes sejam armazenados, recuperados, processados, até que se alcance o produto final da aplicação.

2.1.6 - Amostragem por Isolinhas

Nos mapas topográficos as isolinhas podem ser impressas com o uso de equipamentos, como "stereoplotters", sobre uma base composta de fotografias em estéreo obtidas por aerolevanteamento. Nestes mapas topográficos existem ainda pontos amostrados irregularmente que foram obtidos por trabalhos de campo.

A aquisição das isolinhas pode ser efetuada por meio de digitalização manual com uso de uma mesa digitalizadora, ou através de um processo automático por meio de "scanner". A digitalização manual consiste na operação de identificação de uma isolinha com um valor de cota e em aquisição pelo operador por um processo onde se segue a linha ao longo do mapa. Na digitalização com o uso de "scanner", é obtida uma matriz de pontos onde podem ser identificados as isolinhas e os valores de cota. Processos de vetorização que sigam uma isolinha transformam-na em uma seqüência de pontos com coordenadas xy de mesmo valor em z , para cada isolinha.

2.1.7 - Grade Regular ou Matriz de Elevação

Grade Regular ou Matriz de Elevação são representações matriciais onde cada elemento da matriz está associado a um valor numérico representativo da altitude a ser modelada. São utilizados algoritmos de interpolação que usam os valores amostrados para estimar os demais não levantados. Uma das características relevantes na escolha do método de representação de um MDT é o fato de que poderá haver redundância de dados em terrenos de variação uniforme, acarretando ineficiência computacional.

Segundo ROCHA e MOURA (2001), grades regulares apresentam vantagens no cálculo e no desenho de perfis e seções, nos quais os valores são associados às linhas e colunas.

A Figura 2 exhibe o Modelo de superfície gerada por uma grade regular.

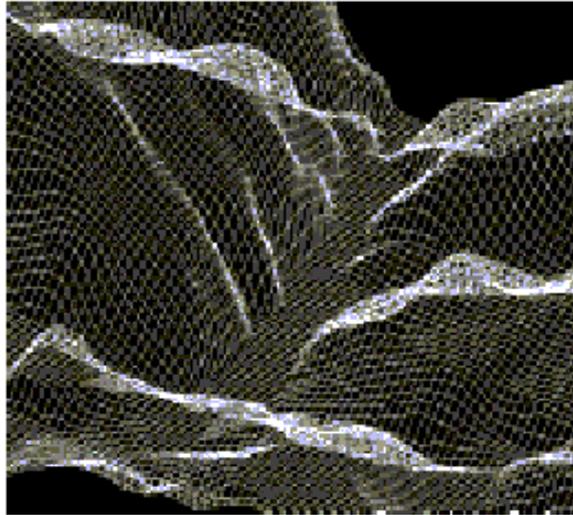


Figura 2: Modelo de superfície gerada por uma grade regular.

2.1.8 - Grade Triangular

Nas grades triangulares segue-se o mesmo esquema de quando o desenho é feito manualmente: unem-se os pontos de maneira a formar uma triangulação de modo que não haja cruzamento de linhas (ROCHA e MOURA, 2001).

Uma rede triangular irregular (TIN) é uma estrutura da subdivisão planar em que as arestas são segmentos de retas e os polígonos são sempre triângulos. Em geral, TINs são criadas a partir de conjuntos de pontos (amostras), usando algoritmos como o de triangulação de Delaunay e outros, como o de triangulação de polígonos por construção de diagonais. Esse algoritmo é muito empregado por que tem a propriedade de maximizar o menor ângulo interno do conjunto de triângulos formados, evitando dessa forma a geração de triângulos com aparência alongada.

Na Figura 3 podemos visualizar um modelo de superfície gerado por grade triangular.

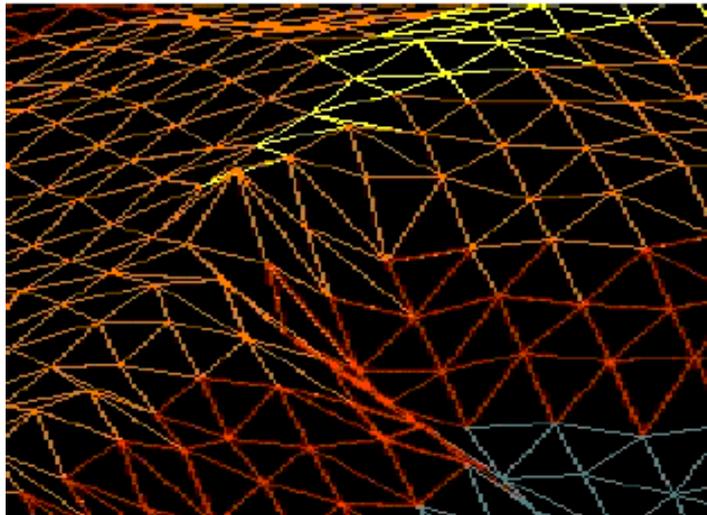


Figura 3: Modelo de superfície gerado por grade triangular

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada neste trabalho constitui-se na aquisição e levantamento dos dados disponíveis no projeto original, edição e preparação desses dados, geração do modelo digital do terreno utilizando a ferramenta Microstation Geoterrain e avaliação final do produto gerado, que é o MDT com seus relatórios de volume de corte e aterro, seguido da criação da maquete eletrônica em 3D utilizando o software Microstation.

A etapa de aquisição e levantamento dos dados foi feita diretamente com a criação do arquivo vetorial 2D e 3D das curvas de níveis, a partir da imagem raster da planta topográfica com altimetria do local.

A etapa de edição e preparação dos dados constituiu-se em avaliar o conteúdo do arquivo vetorial criado inicialmente, eliminando pontos levantados errôneos e acrescentando pontos onde houve falhas, visando a geração do modelo o mais preciso possível.

A terceira etapa, que compreende a geração do modelo digital do terreno, consistiu-se em vários testes das possibilidades apresentadas pela ferramenta utilizada, procurando encontrar a mais adequada para o projeto em questão.

3.1 - Projeto Original

Na cidade de Porto Velho, capital do estado de Rondônia, em uma área disponível para realização de um loteamento realizamos este estudo. A área fica distante do centro da capital em aproximadamente 6,5 km. Lá existem algumas construções residenciais e o proprietário alçava novos horizontes para o futuro do loteamento.

Havia, inicialmente, a pretensão de se utilizar a área para a construção de um “Resort”. O público alvo seria a classe alta e média alta de Porto Velho.

Considerava-se que havia uma intensa procura, por essas classes, de uma alternativa de moradia que atendesse a certos anseios característicos como conforto, liberdade, segurança

pessoal e familiar, além de demonstração de status.

Os fatores supostos pelo cliente que influenciariam na escolha da aquisição de uma área no loteamento por esse público seriam:

- Pequena Quantidade de lotes;
- Considerável tamanho dos lotes;
- Coleta de lixo interna;
- Abastecimento de água potável;
- Existência de áreas de preservação ambiental;
- Existência de praças e jardins;
- Presença de lojas de conveniência;
- Vias de trânsito para pedestres e veículos;
- Existência de clube para condôminos;
- Portal de entrada com múltiplas funções.

Entendia-se que, quanto mais próximo dessas características e expectativas, mais viável o empreendimento se tornaria e mais rapidamente ele seria aceito pela parcela da sociedade ao qual ele se dirigia.

3.2 - Localização da área

O loteamento está localizado na cidade de Porto Velho, capital do estado de Rondônia. Nesse momento, torna-se oportuno descrever algumas características básicas da região para melhor entendimento do estudo em questão.

A imagem de satélite Landsat7, 2000, visualizada na Figura 4, exhibe o estado de Rondônia e os estados vizinhos, identificando em cor laranja a sua capital.



Figura 4: Imagem de satélite Landsat7, 2000 com visualização do Brasil e localização do estado de Rondônia, realçando a cidade de Porto Velho. Disponível em: www.infostrata.com.br/website/FomeZero, Acesso em : 01 out. 2003.

Para melhor conhecermos a região onde se localiza o loteamento, aspectos relacionados ao clima, relevo e população poderão ser úteis para vislumbrarmos o contexto da área a ser trabalhada. Descrevemos na Tabela 1 algumas características do estado de Rondônia:

TABELA 1 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DO ESTADO DE RONDÔNIA	
Tema	Características
Relevo	Cerca de 66% da superfície do estado de Rondônia se encontra entre 100 e 300m de altitude.
Clima	Predomina em Rondônia o clima tropical úmido com estação seca pouco marcada (Am de Köppen). A pluviosidade varia de 1.900mm, no sul, a 2.500mm, no norte. A temperatura mantém-se elevada durante todo o transcorrer do ano, com médias anuais superiores a 26°C.
Hidrografia	Todos os rios do estado pertencem à bacia do rio Madeira, afluente do Amazonas. O chapadão forma o divisor de águas entre os rios que correm diretamente para o Madeira, localizados na parte oriental do estado, e os da região ocidental, que correm para o Mamoré e o Guaporé.
Vegetação	Cerca de 70% da superfície de Rondônia é recoberta pela floresta pluvial amazônica. Os restantes 30% correspondem a cerrados e cerradões que revestem a superfície tabular do chapadão.

Tema	Características
População	Em 1950, o então território do Guaporé tinha uma população extremamente rarefeita, não passando de pouco mais de 37.000 habitantes. Quarenta anos depois, no começo da década de 1990, o estado de Rondônia já havia ultrapassado a marca de 1.100.000 habitantes. Na década de 1980 a intensa imigração fez aumentar a população de Rondônia em cerca de 20% ao ano, índice sem precedentes na história do país e que causou sérios problemas ao governo estadual, incapaz de suprir de forma tão rápida as necessidades de assistência médica, educação e abastecimento de energia.

Tabela 1: Características do estado de Rondônia. Disponível em: <http://www.rondonia.ro.gov.br/>, Acesso em: 01 out. 2003.

A imagem de satélite Landsat7, 2000 exibida na Figura 5, define a área de Porto Velho e exhibe também a hidrografia do entorno:



Figura 5: Imagem de satélite Landsat7, 2000 realçando a cidade de Porto Velho e a hidrografia do entorno. Disponível em: www.infostrata.com.br/website/FomeZero, Acesso em : 01 out. 2003.

Para conhecermos um pouco mais da cidade de Porto Velho, listamos algumas características que podem ser vistas na Tabela 2:

TABELA 2 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DA CIDADE DE PORTO VELHO	
Tema	Características
Habitação	Porto-velhense

Tema	Características
Situação geográfica	Área: 58.310 km ²
Limites	Humaitá (Amazonas, N); Jamari (SE); Candeias do Jamari (S) e Guajará-Mirim (O)
Altitude	85 m
Distância de Brasília	2.589 km
População residente	334.661 (166.737 Homens e 167.924 Mulheres) (Sendo população urbana: 273.709 e rural: 60.952) <i>Fonte: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2000 – Censo demográfico.</i>

Tabela 2: Características da cidade de Porto Velho. Disponível em: <http://www.rondonia.ro.gov.br/>, Acesso em: 01 out. 2003.

3.3 - Solicitação do Projeto

Foi solicitado um projeto de loteamento cuja implantação do arruamento possuía os seguintes parâmetros:

- Efetuar uma raspagem no terreno de 40 cm para aplicação da sub-base, base e pavimentação das ruas, com um caimento nas pistas a partir dos eixos das mesmas para as sarjetas de 2%;
- Declividade das vias não deveria ser superior a 20%;
- Coerência entre o volume de escavação e de aterro, evitando-se o bota-fora ou compra de terra; adotou-se um talude de 1v:1h (1 metro na vertical acarreta 1 metro na horizontal, tanto para os cortes como para os aterros) em todas as áreas de corte ou aterro;
- Largura média das vias: 12,00 metros;

Na imagem de satélite Landsat7, 2000, exibida na Figura 6, vemos a região retangular que

compreende o loteamento, onde vemos ao fundo o Rio Madeira e uma pequena ilha, próxima ao loteamento.

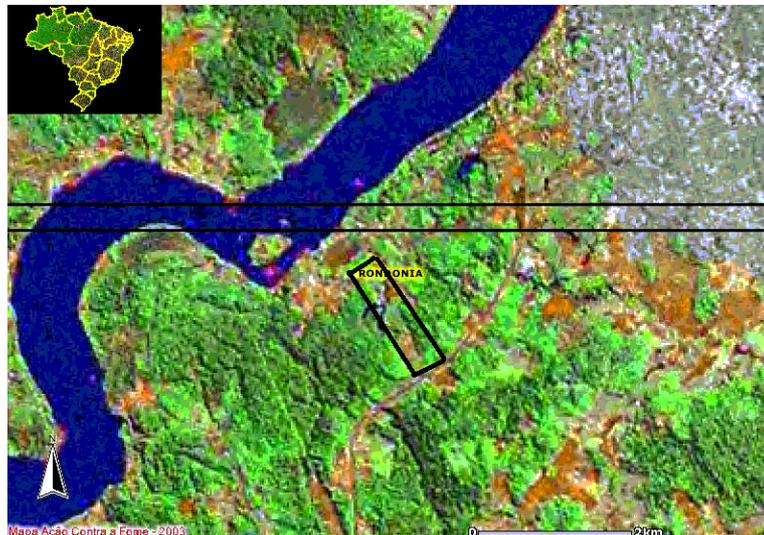


Figura 6: Imagem de satélite Landsat7, 2000 realçando área do loteamento no retângulo. Disponível em: www.infostrata.com.br/website/FomeZero, Acesso em : 01 out. 2003.

3.4 - Criação dos Desenhos

Foram criados os seguintes desenhos em 3 dimensões no programa Microstation 95 para a execução dos projetos de pavimentação:

- a) Desenho com as curvas de nível do terreno original, a partir de um arquivo raster.
- b) Desenho com as curvas de nível alteradas em função da implantação das vias.
- c) Desenho do loteamento com as respectivas declividades e delimitação de suas divisas.
- d) Desenho dos lotes com suas dimensões aproximadas nas divisas. Estas dimensões poderão sofrer algumas alterações após a urbanização efetiva da área. Servem, contudo para esclarecer aproximadamente a configuração da área de cada terreno.

Foi gerado um relatório de movimentação de terra específico para os parâmetros acima

indicados. Se, durante a execução da implantação, os taludes ou as profundidades da raspagem do terreno fossem alterados, estes valores deveriam ser descartados. Ressalte-se que esses valores são aproximados, e ficaram excelentes para o que foi solicitado.

Na Figura 7 vemos o arquivo original raster com as curvas de nível enviado pelo cliente para elaboração do arquivo vetorial.

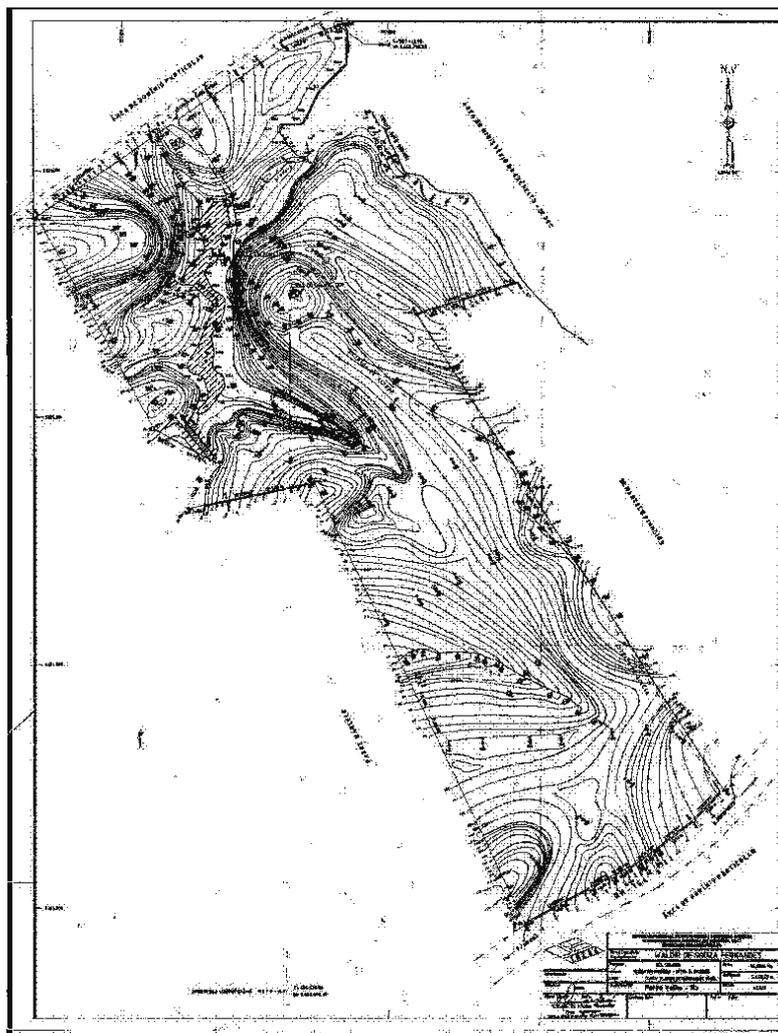


Figura 7: Imagem raster com as curvas de nível.

Baseados em informações visuais do arquivo raster do loteamento, geramos o arquivo vetorial em duas dimensões utilizando o software Microstation 95. Exibimos na Figura 8 a imagem do arquivo gerado com as curvas de nível.

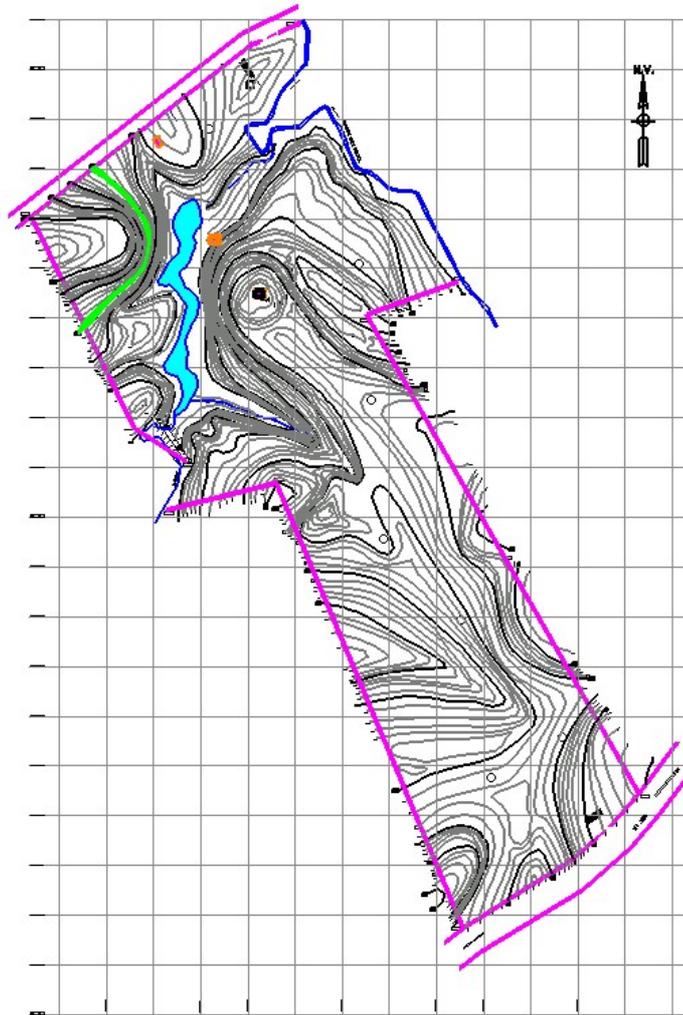


Figura 8: Arquivo Jcurvas2d.dgn com as curvas de nível em duas dimensões.

Após a elaboração do arquivo 2D, georreferenciamos o arquivo, completamos as informações de altitude e geramos o arquivo vetorial em três dimensões.

A Figura 9 mostra a imagem do arruamento definido para o loteamento, com as vias de acesso.

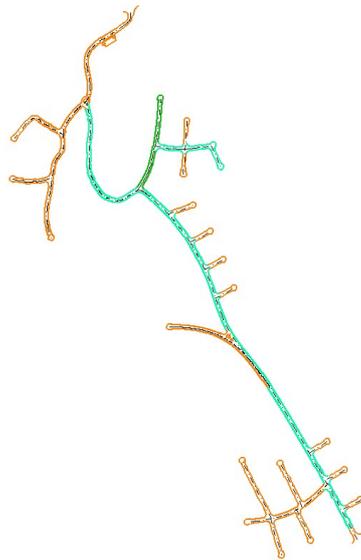


Figura 9: Arquivo Jarruamento2d.dgn com a visualização do arruamento.

Na Figura 10 vemos a imagem do arquivo 2D com as informações dos lotes e das vias de acesso.

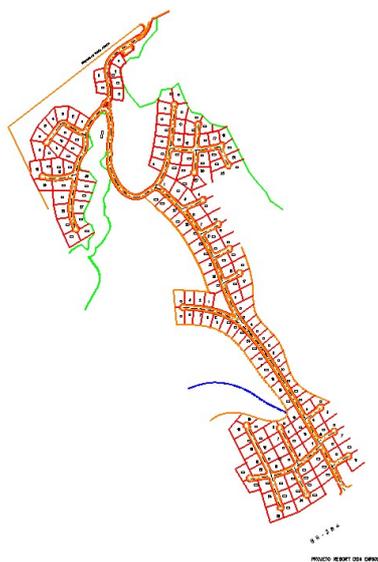


Figura 10: Arquivo Jlotes2d.dgn com os lotes e arruamento.

A partir das informações dos arquivos vetoriais gerados, iniciamos a terceira fase dos trabalhos, que é a geração do Modelo Digital do Terreno.

Devido a pouca declividade e variação na área do loteamento, a utilização da grade regular neste projeto poderia acarretar ineficiência computacional, pois haveria redundância de dados nas áreas de variação uniforme do loteamento. Sendo assim, optamos pela utilização da grade triangular.

Um problema que surge de imediato é a definição do espaçamento dos pontos da grade, bem como a direção que esta deve seguir. Este espaçamento deve ser definido previamente, seguindo os parâmetros definidos para o projeto, tais como escala, resolução geométrica da imagem, parâmetros de qualidade do MDT gerado e o tipo do terreno. Terrenos planos não exigem uma densidade muito grande de pontos. Já terrenos acidentados precisam de um número de pontos tão grande quanto possível.

Uma estratégia para terrenos heterogêneos, isto é, que possuem áreas planas, onduladas e acidentadas ao mesmo tempo, é a sua divisão em várias áreas homogêneas, a extração dos respectivos MDTs (cada qual seguindo a densidade de pontos mais adequada para a área em questão) e a junção posterior dos MDTs, que pode ser através de software específico. Esta solução, bastante elegante, maximiza a acurácia e precisão do modelo gerado, e minimiza o espaço em disco que este irá ocupar.

Através do programa Microstation Geoterrain, acessamos o menu do aplicativo e inserimos os parâmetros para a criação do arquivo tipo texto (DAT), com os dados das curvas de nível, incluindo a altitude. A Figura 11 exibe a tela de entrada parâmetros do software.

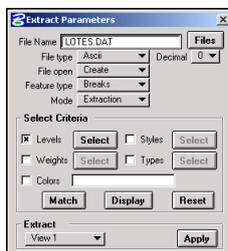


Figura 11: Tela de entrada de parâmetros para geração do arquivo DAT.

O arquivo texto gerado é bastante extenso, possuindo 11.614 linhas com informações das cotas e altitude. A Figura 12 mostra parte do arquivo para visualização do seu layout.



Estação	Cota	Altitude
2	2165	2097 74
3	2177	2077 74
2	2003	2003 82
3	1988	2023 82
3	1986	2026 82
2	2551	419 115
3	2559	427 115
3	2567	436 115
3	2569	439 115
3	2571	441 115
3	2572	442 115
3	2572	444 115

Figura 12: Trecho inicial do arquivo DAT com dados das curvas de nível e altitude do loteamento, gerado no programa Geoterrain.

Após a geração do arquivo DAT, foram gerados os modelos utilizando a grade triangular.

O programa Geoterrain gera automaticamente os triângulos, mas deve-se analisar o produto gerado, tentando obter o refinamento da grade ideal. As regiões muito íngremes são áreas críticas na geração da triangulação.

A Figura 13 mostra a imagem da triangulação do arruamento:

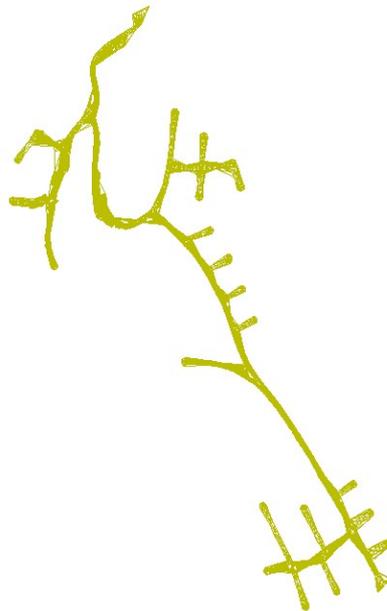


Figura 13: Arquivo Jtin.dgn com a triangulação do arruamento.

A Figura 14 mostra a imagem da triangulação do terreno.

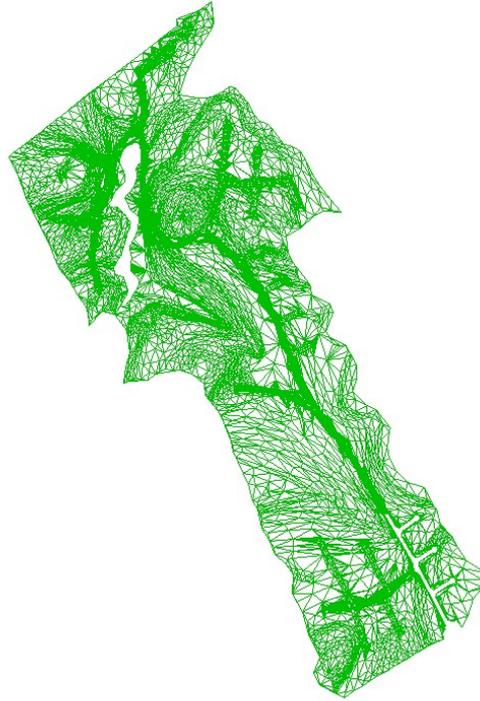


Figura 14: Arquivo Jtin.dgn com a triangulação do terreno.

A Figura 15 exibe uma área da triangulação para melhor compreensão do processo.



Figura 15: Arquivo Jtin.dgn com detalhe da triangulação do terreno.

A partir da escolha do modelo digital que apresenta maior nitidez, inserimos os níveis de informação da área, como a hidrografia, limites e áreas de acesso, etc. A Figura 16 exibe a imagem do arquivo vetorial completo em 3D.

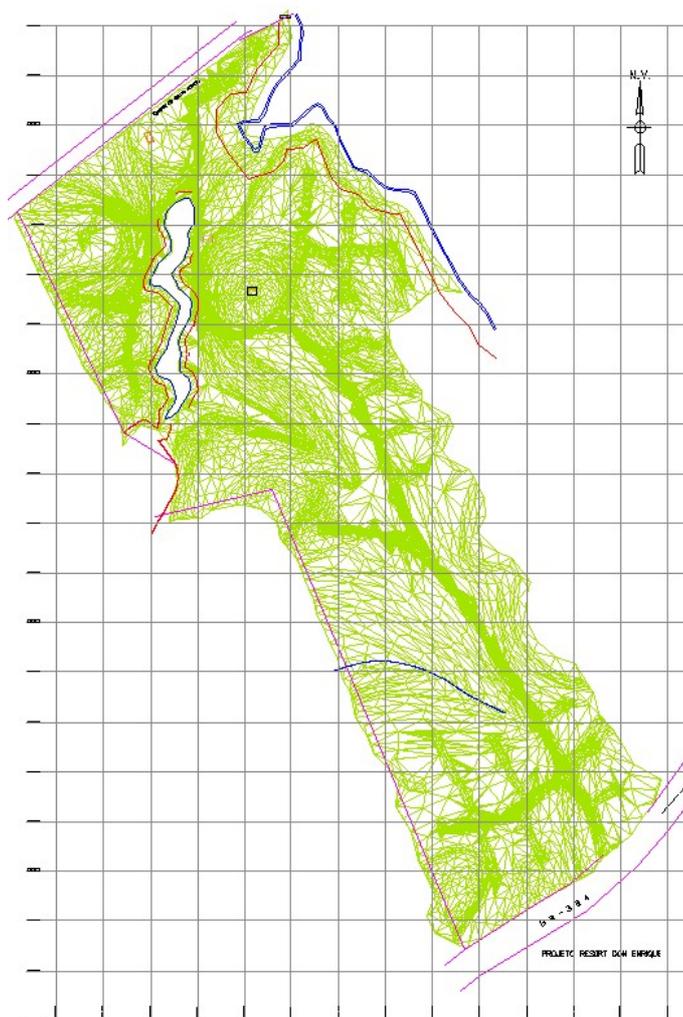


Figura 16: Arquivo Jmodelagem.dgn com a triangulação do terreno

Feita a sobreposição do arruamento e da área do loteamento, temos o arquivo em 3D do Modelo Digital do Terreno, Figura 17:

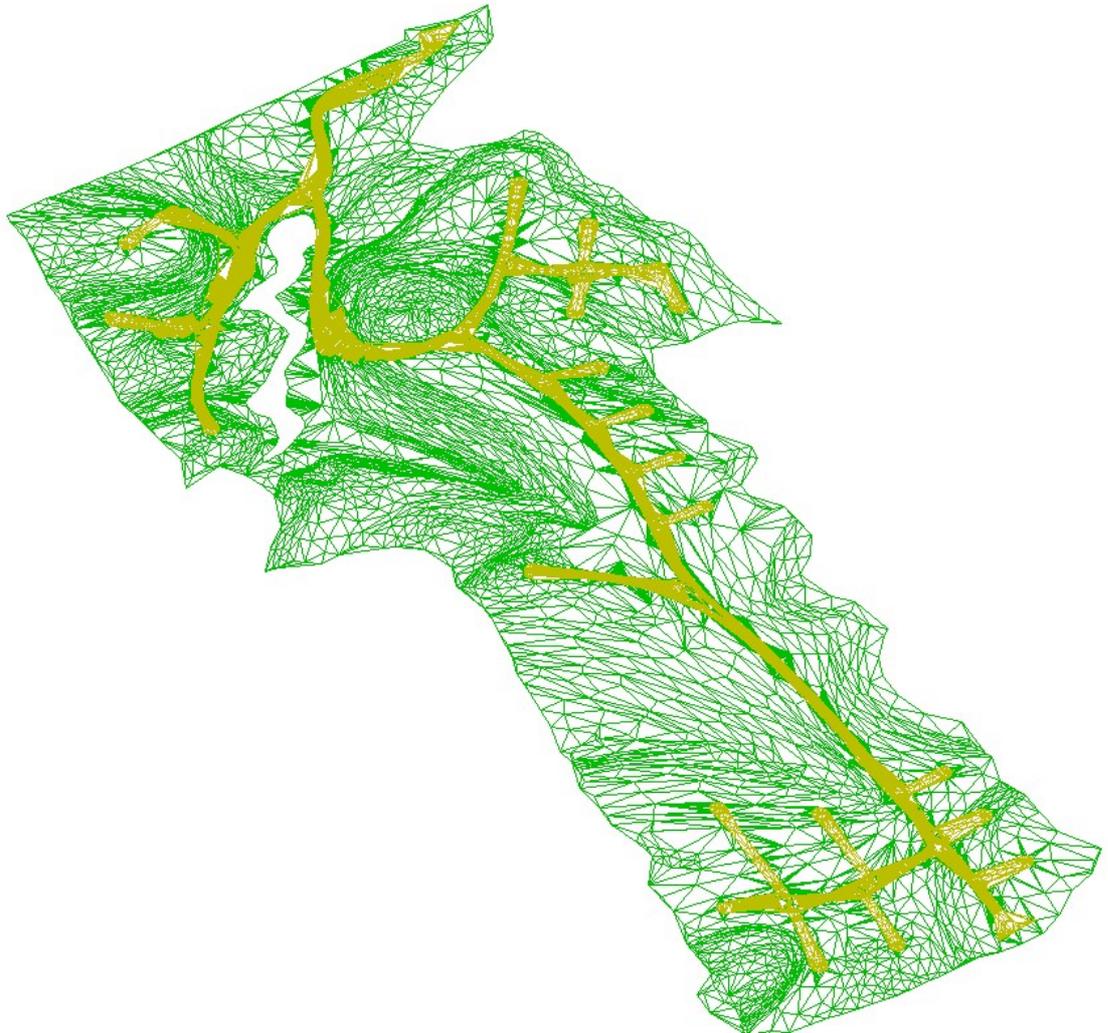


Figura 17: Arquivo Jmdt.dgn com a triangulação do terreno e sobreposição do arruamento.

A vista superior da triangulação pode ser melhor visualizada após inserção das diversas camadas de informação em cores distintas, como na Figura 18:

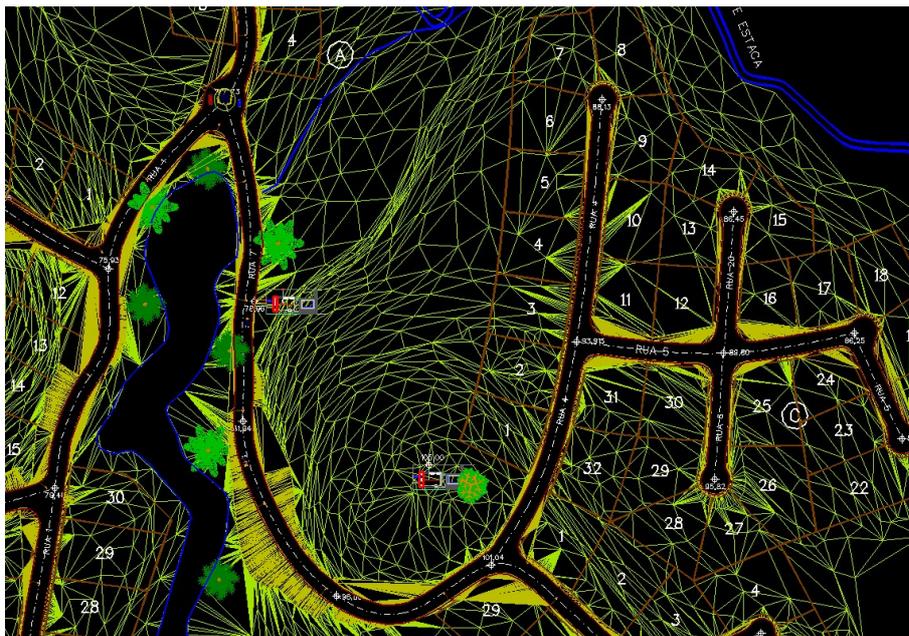


Figura 18: Vista de topo do MDT do loteamento.

3.5. O projeto de uma estrada

O projeto de uma estrada pode ser visto como um problema de modelagem geométrica de características especiais [MEDEIROS & CARVALHO, 1997].

Em um projeto analógico de uma estrada, temos como ponto de partida para o projetista o terreno, que pode ser matematicamente representado por uma superfície de equação $z = f(x,y)$, onde z é a cota do terreno no ponto de coordenadas (topográficas ou geográficas) x e y . Tomando como base o terreno, o projetista determina, sobre o plano xy , uma linha poligonal, que representa uma primeira aproximação da projeção do eixo da estrada sobre o plano horizontal. A poligonal escolhida visa evitar, de acordo com a intuição e a experiência do projetista, regiões demasiadamente acidentadas do terreno. Escolhida a poligonal, ela é ajustada em cada vértice através de curvas de concordância entre os segmentos da poligonal. O lançamento da poligonal e das curvas é o chamado projeto horizontal da estrada.

A interseção da superfície do terreno com a superfície vertical determinada pela linha

poligonal ajustada determina uma curva no espaço, denominada perfil do terreno.

Tomando como base o perfil, o projetista lança o chamado greide da estrada, que é uma linha apoligonal que especifica a posição, com relação ao terreno da estrada a ser construída. O posicionamento do greide deve atender a diversos critérios, como a rampa máxima especificada pelas normas técnicas. Além disso, ele deve ser escolhido de modo a minimizar o custo da terraplenagem requerida para sua construção.

Para o projetista, além da informação visual relacionando a seção transversal do terreno e da plataforma, é importante avaliar o volume de terra (corte e aterro) na terraplenagem. Para tal, é útil um gráfico conhecido como diagrama de Bruckner, que fornece, para cada ponto da estrada, a soma algébrica de todos os volumes de corte (+) e aterro (-), acumulados desde o início do trecho.

No método digital de projeto de uma estrada, temos ao final da triangulação, os triângulos exibidos e então é permitido que sejam definidas as break lines. Para o modelo digital, as break lines são arestas obrigatórias e que na vida real representam rios, talwegues, linhas de cumeada, ou qualquer outra linha natural ou feita pelo homem e que se encontra na superfície do terreno que se deseja modelar. Com isso consegue-se resolver problemas de adequação de plataformas e de otimização de volumes de terraplanagem.

O relatório de volume gerado pelo Geoterrain é uma ferramenta muito útil ao projetista, pois fornece informações de movimentação de terra ao longo do alinhamento de projeto. O cálculo de volumes de terraplanagem, assim como o cálculo de seções transversais, é um instrumento de controle. Ele fornece informações sobre a quantidade de cortes e aterros em volume (m³) e é muito importante durante o desenvolvimento do projeto de uma estrada, sobretudo na etapa de projeto vertical (greide), onde se definem as rampas que a estrada vai ter.

Informações sobre as seções transversais produzidas são de extrema importância, pois através delas o projetista observará a colocação de plataforma no terreno e estudará possíveis interferências.

4 – RESULTADOS

Após a geração do MDT do loteamento o projeto passa a contar com uma poderosa ferramenta de simulação interativa. A partir da vista aérea em 3D, pode-se visualizar a largura das vias de acesso, o tamanho dos lotes, a proximidade dos lotes ao lago, etc. Nesse ponto, a visualização da área está completa e integrada, facilitando interpretações e promovendo discussões sobre as várias possibilidades de se projetar o loteamento.

4.1 - Modelo Tridimensional com luz solar ativada

Aliando a precisão técnica fornecida pelo Geoterrain e o MDT pode-se gerar um excelente material visual do loteamento. As possibilidades de uso de renderização e texturas são inúmeras. A Figura 19 mostra o MDT em vista 3D com efeitos de renderização e luz solar ativada. Este produto se torna bastante útil para apresentações públicas, pois transmitem com bastante precisão a geometria do terreno a ser comercializado. Observa-se o limite da área do loteamento através da cor *cyan* que lembra um muro vertical em torno da área.

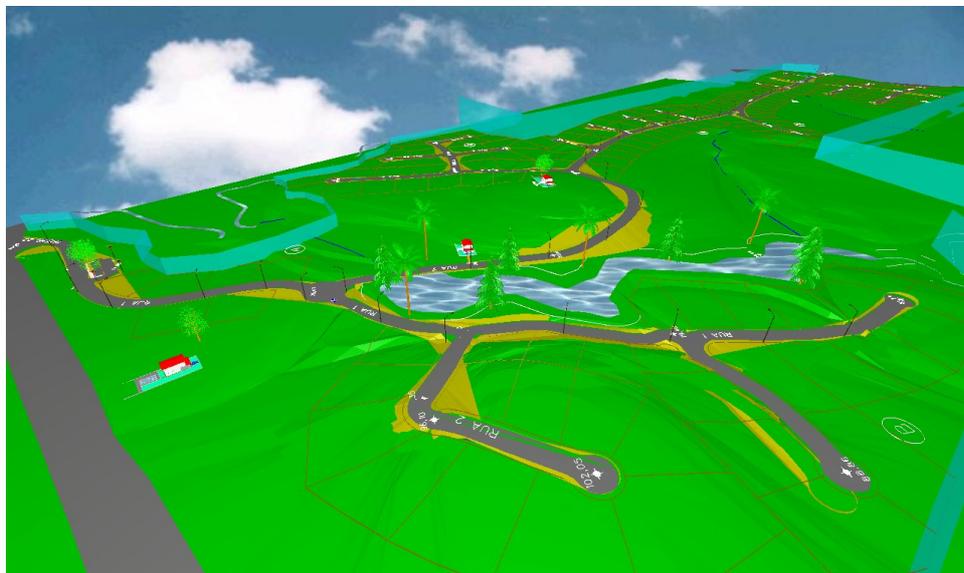


Figura 19: Arquivo com vista do acesso do loteamento pela BR 364.

4.2 - Maquete Eletrônica

Utilizando o MDT e a renderização do arquivo em 3 dimensões podemos apresentar uma maquete eletrônica com uma infinidade de vistas, que facilitam a visualização para o público em geral, tornando-se um excelente material de apoio na comercialização e marketing do loteamento. A elaboração simples e relativamente rápida de diversos ângulos de observação torna este método bastante eficiente frente às tradicionais maquetes.

Exibimos na Figura 20 uma vista panorâmica da região do acesso ao loteamento.

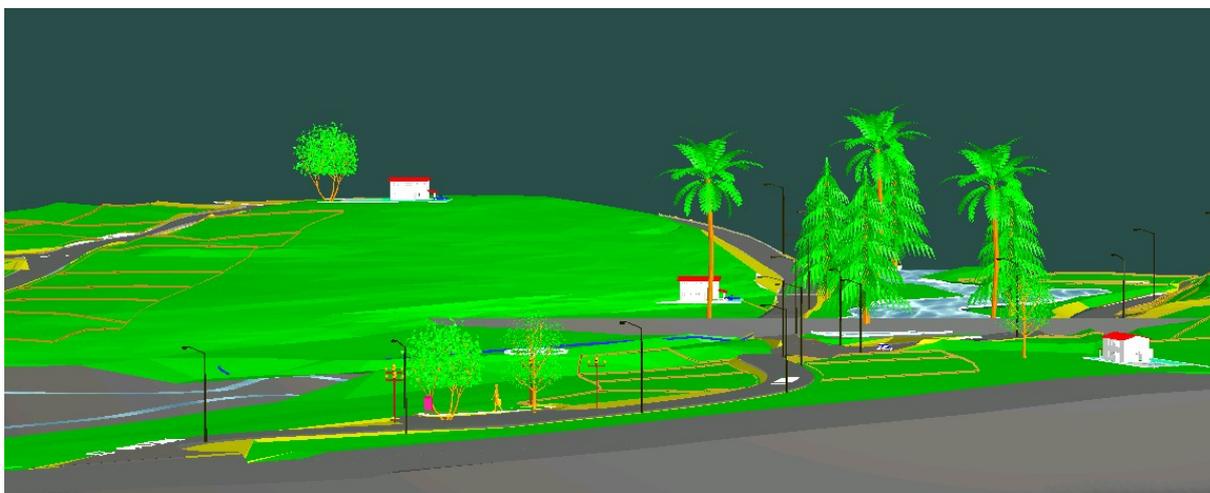


Figura 20: Vista panorâmica do acesso pela BR 364.

Para apresentação da maquete eletrônica, o Microstation também disponibiliza diversas texturas e paisagens que auxiliam na visualização da área com cenários pictóricos.

Vejamos na Figura 21 a vista aérea do loteamento exibindo ao fundo um cair da tarde na região, sugerido pelos modelos encontrados no software.



Figura 21: Vista aérea parcial da urbanização.

A visualização dos acessos e arruamentos também se torna um facilitador na exibição do futuro loteamento. A Figura 22 exibe uma via de acesso interna do loteamento.



Figura 22: Seção típica das vias internas.

Na maquete eletrônica a escolha do lote e sua proximidade às áreas de interesse, como a lagoa, podem ser facilmente visualizadas. A interatividade é um fator determinante na exibição da região para o público em geral, podendo escolher a vista e virtualmente “sobrevolar” a área do loteamento. Vejamos, na Figura 23, uma das vistas com o detalhe das áreas a serem loteadas.



Figura 23: Vista aérea parcial da área da lagoa.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após a elaboração desse estudo podemos contar com uma excelente ferramenta de ampla utilização. A análise dos resultados obtidos demonstra a eficiência de uma metodologia de trabalho e a demonstração dos vastos recursos disponíveis através do geoprocessamento.

No aspecto técnico, uma das vantagens do método MDT para cálculo de volumes de terra são os relatórios gerados pelo Geoterrain, que disponibiliza aos projetistas quantidades precisas de corte e aterro com agilidade e facilidade de visualização. As informações geradas no processamento do MDT também poderão ser exportadas para outros formatos de arquivos, por exemplo, planilhas eletrônicas ou documentos de texto, para tratamento da informação conforme necessidade do usuário.

Entretanto, torna-se importante salientar que o mapeamento de declividade através da modelagem digital de terreno elaborada automaticamente por programas não está isento de erros. Esta informação traz um erro geométrico intrínseco que, agravado pela resolução do original cartográfico utilizado como base de dados do sistema, pode propagar uma cadeia de erros no processamento da análise e decisão.

“Substancialmente, o mapeamento digital de terreno é apenas a geração de uma visão pictórica da modelagem do terreno. Sendo assim, não se deve buscar informação de declividade em classes muito detalhadas, para não se embutir uma acurácia cartográfica muito deficiente” [BAETA, 1999].

Segundo BAETA (1999), uma confrontação de dados em diversos meios, como Spring, uma carta de declividade analógica e os pontos amostrais de declividade na verdade terrestre examinada, ambos os processamentos cartográficos das classes de declividade apresentaram baixos índices de coincidência, significando baixa acurácia dos mapeamentos, tendo-se em vista o conceito clássico de declividade.

Ao confrontarmos a realidade virtual elaborada através do MDT e o projeto analógico inicial apresentado podemos sugerir que alterações significantes poderiam ser acrescentadas

ao projeto de forma a diminuir custos na sua execução. Uma dessas alterações seria a variante exibida na Figura 24.



Figura 24: Vista aérea da variante sugerida.

Uma alteração relevante aos custos do projeto inicial seria a reavaliação da área de corte e aterro. Na Figura 25 temos uma região de superdimensionamento nos volumes de terraplenagem, podendo-se estudar uma solução mais adequada e econômica para esta seção do loteamento.

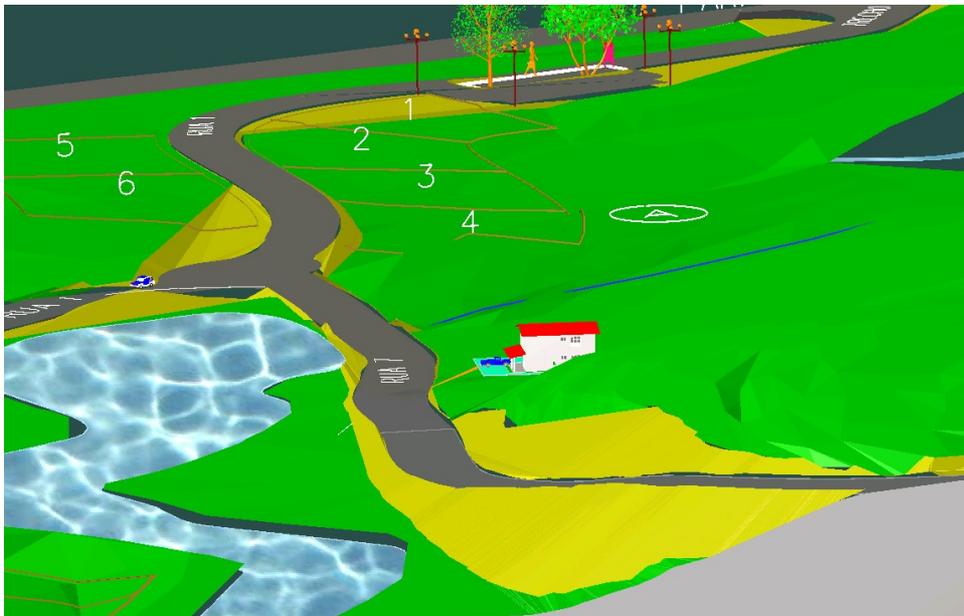


Figura 25: Seção do terreno na região do aterro acentuado.

Na Figura 26 temos uma visão diferenciada da área a ser reavaliada. Podemos perceber nitidamente o excesso de aterro na via de acesso.

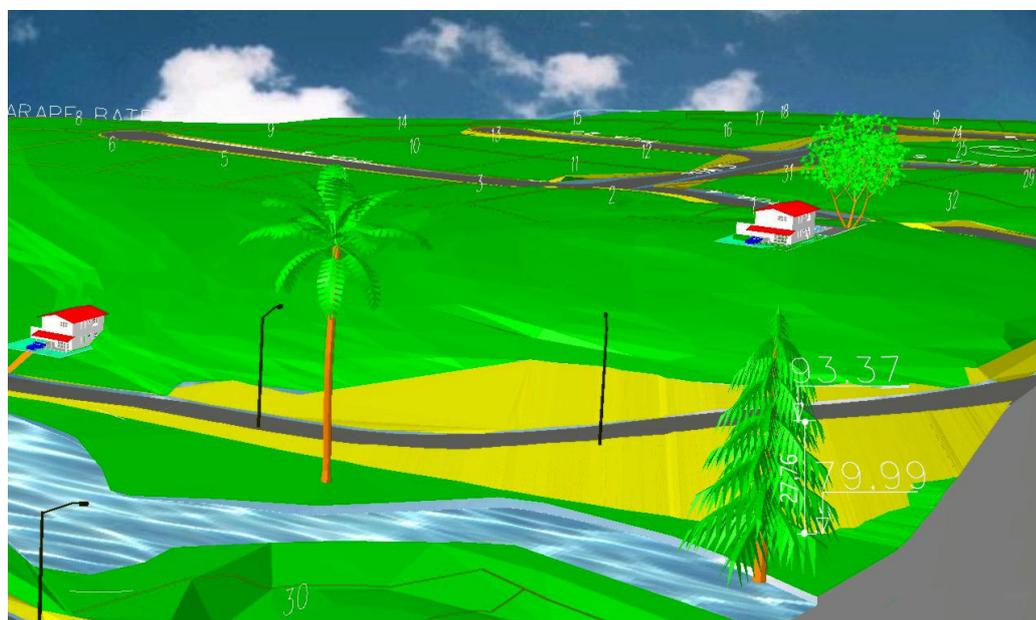


Figura 26: Detalhe do aterro acentuado passível de alterações identificado pelo MDT.

6 - CONCLUSÕES

Após a elaboração deste estudo podemos afirmar que o uso das ferramentas de geoprocessamento para projetos urbanísticos constitui-se numa fundamental tecnologia que alia velocidade e precisão no processamento dos dados, com recursos de linguagem gráfica que possibilita a clara comunicação entre os empreendedores, projetistas e clientes envolvidos.

Nesse estudo, demonstrou-se que o mapeamento digital resultou em melhor precisão que o mapeamento analógico. A elaboração analógica de um projeto de loteamento é um processo impreciso por natureza.

Analisando a metodologia do MDT no auxílio à engenharia civil, temos uma clara redução de custos na execução do projeto do loteamento. A variante sugerida e o superdimensionamento nos volumes de terraplenagem ilustram com clareza que uma solução mais adequada e econômica pode ser inserida neste projeto.

Certamente, as ferramentas digitais atualmente disponíveis são de grande utilidade para os engenheiros projetistas e é de se esperar que estradas projetadas com a ajuda de MDT possibilitem a redução de custos nestes projetos.

Por outro lado, temos uma ferramenta gerada automaticamente que apresenta as possibilidades de uso que o geoprocessamento oferece na produção de material visual, em forma de maquete eletrônica. As diversidades de texturas, cores, efeitos e a quantidade de informações exibidas graficamente auxiliam na visualização do projeto, facilitando a tomada de decisões, independente do nível técnico do usuário.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todos os procedimentos, métodos e análises são resultados de pesquisa e leitura de trabalhos científicos, associados aos conhecimentos profissionais prévios e aos adquiridos ao longo do curso de Especialização em Geoprocessamento.

Tendo em vista a vastidão do assunto e as diversas possibilidades de uso de um mapeamento digital de terreno, como continuidade dos estudos desse trabalho, apontam-se:

- Acompanhar o desenvolvimento e testar os resultados de outros programas voltados para a construção de Modelos Digitais de Terrenos.
- Confrontar a grade de declividade obtida através da aplicação de geração da grade retangular do MDT.

Enfim, podemos afirmar que os avanços tecnológicos criam condições de mercado e trabalho com modos mais rápidos e eficientes de produção. As alternativas que facilitam a tomada de decisão devem ser avaliadas e inseridas no cotidiano, agregando agilidade e fidelidade das informações aos projetos de engenharia civil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAETA, Aliane Maria Motta. **Avaliação da acurácia cartográfica do mapeamento digital de classes de declividade, confrontado ao mapeamento analógico e aos dados da verdade terrestre:** estudo da Carta de Igarapé (MG) utilizando o programa Spring/INPE. Belo Horizonte: PUC-MINAS, Junho/1999. (Dissertação de Mestrado)
- FELGUEIRAS, Carlos Alberto. **Análises sobre Modelos Digitais de Terreno em Ambiente de Sistemas de Informações Geográficas.** Rio de Janeiro: DPI – INPE, 1988. Disponível em <http://www.obt.inpe.br>.
- ROCHA, César Henrique Barra & MOURA, Ana Clara M. **Desmistificando os aplicativos Microstation:** guia prático para usuários de Geoprocessamento. Petrópolis: os autores, 2001.
- TIMBÓ, M. **Modelagem digital de terreno.** Notas de aula. Belo Horizonte: UFMG - Departamento de Cartografia: Curso de especialização em Geoprocessamento, 2003.
- VIEIRA, Eliane Ferreira Campos. **Produção de material didático utilizando ferramentas de geoprocessamento.** Belo Horizonte: UFMG, 2001. (Monografia apresentada ao Curso de especialização em Geoprocessamento).
- MEDEIROS, Reynaldo Cosati, **Projeto Geométrico de Vias Assistido por Computador,** Rio de Janeiro: PUC-Rio, 1997. (Dissertação de Mestrado, Depto. Eng. Civil).