

A GERAÇÃO DE MODELO DIGITAL DO TERRENO PARA PROJETO GEOMÉTRICO DE VIAS EM AMBIENTE DE SOFTWARE LIVRE

RESUMO

O Modelo Digital do Terreno(MDT) é peça fundamental na concepção de um projeto geométrico de vias automatizado. Existem vários softwares comerciais que trabalham o MDT com grande sucesso. O Governo Federal implantou uma diretriz de utilização prioritário de software livre buscando, não só uma redução de custos de desenvolvimento, como também maior eficiência técnica. A geração do MDT inicia com a amostragem e se concretiza com o processo de triangulação, normalmente atendendo ao critério de Delaunay. O desenvolvimento de uma solução automatizada é feita à partir dos requisitos levantados para o sistema e os respectivos casos de uso. Foi adotado a linguagem Java pela portabilidade e os conceitos de Orientação a Objetos(OO). Dados originais do terreno em arquivo de extensão TXT foram trabalhados, gerando um MDT pela triangulação de Delaunay. Foi possível determinar a cota de vários pontos não amostrados por interpolação. O sistema desenvolvido possibilita trabalhar com arquivos de dados típicos originários de processos topográficos e a triangulação obtida atendeu ao critério adotado. Desta forma, é possível obter a cota de qualquer ponto do projeto de uma via. A geração de MDT em ambiente de software livre é o passo inicial para o desenvolvimento de um sistema para Projeto Geométrico de Estradas em ambiente livre com benefícios futuros para a comunidade acadêmica .

ABSTRACT

The Digital Terrain Model (DTM) is an important part in the automatized geometric roads project conception. There are several successful commercial softwares based in DTM. The Brazilian Federal Government implanted free software as a priority line, searching development costs reduction and bigger efficiency. The generation of the DTM initiates with sampling and materializes with triangulation process, normally using the Delaunay criterion. The development of automatized solution starts with the system requirements and the respective cases of use. The Java language was adopted for being portable and follow concepts of object-orientation (OO). Original data of the terrain, in TXT extension archive, had been worked, generating a DTM with Delaunay triangulation. It was possible to determine the altitude of some points not sampled by interpolation. The developed system makes possible to work with topographical processes typical data archives and the triangulation has been acceptable. In this way is possible to get the quota of any project point. The generation of DTM is the initial step of a system for Geometric Roads Project in free environment with future benefits for the academic community.

1. INTRODUÇÃO

Dentre as várias formas de representar a superfície da terra, uma que possui extensa aplicação na informática é o Modelo Digital do Terreno (MDT). Deriva-se dele muitas aplicações para vários campos do conhecimento humano; entre eles a Engenharia de Transportes.

Montenegro (1997) entende modelos de terreno como uma "*representação digital de uma parte da superfície terrestre*". Acrescenta que o terreno pode ser visto como uma superfície se for considerado que cada ponto existente possui apenas um valor para a altura. Os modelos de terreno constituiriam, assim, um caso específico de campos de alturas, que pode ser definido como um "*conjunto bi-dimensional de amostras de altura de uma superfície*".

O projeto de uma estrada é fortemente influenciado pela superfície onde será construída. Esta influência é ainda maior em seu projeto geométrico. Entende-se como projeto geométrico de uma estrada a correlação dos elementos físicos com as características de operação, frenagem,

aceleração, condições de segurança, conforto, etc (Pontes Filho, 1998).

Com o desenvolvimento da informática, várias aplicações foram produzidas para a realização deste tipo de projeto. Os softwares atualmente utilizados no Brasil foram desenvolvidos pelas empresas fabricantes de equipamentos topográficos e são comercializados para os usuários. O preço destes programas ainda são impositivos para pequenas empresas, profissionais e o meio acadêmico. Em consequência as universidades apresentam grande dificuldade em ensinar os princípios de projeto automatizado de estradas.

Em 2003, foram lançadas as diretrizes para a implementação do Software Livre no Governo Federal com o objetivo, entre outros, de promover a otimização de recursos e investimentos em tecnologia da informação.

Saleh (2004) apresenta importante distinção filosófica entre os termos “software livre” e “código aberto”. O primeiro foi concebido pelo americano Richard Stallman e questiona fundamentalmente a comercialização de softwares defendendo que a existência dos softwares proprietários é prejudicial ao desenvolvimento do conhecimento e a sociedade como um todo. Foi o responsável pela fundação da principal organização internacional dedicada à produção do software livre, a Free Software Foundation (FSF).

Em 1997, um grupo de pessoas que trabalhavam no desenvolvimento de software livre, sentindo-se incomodadas pelo caráter ideológico da FSF, lançou o movimento pelo Código Aberto. De acordo com este movimento, o software deveria ser aberto não por questão de liberdade, mas por permitir um melhor desenvolvimento tanto técnico como economicamente. A idéia principal é que ao permitir acesso de programadores para ler, modificar e distribuir, surgem melhorias, adaptações e correções que contribuem para a evolução do programa.

O site do Governo Federal sobre software livre apresenta a seguinte definição: “*software disponível com a permissão para qualquer um usá-lo, copiá-lo, e distribuí-lo, seja na sua forma original ou com modificações, seja gratuitamente ou com custo*”.

O desenvolvimento do Modelo Digital do Terreno em ambiente de software livre busca não só uma otimização de custos, mas também uma maior eficiência técnica, ao permitir que outros desenvolvedores contribuam para sua implementação, principalmente em suas atualizações. Acredita-se que a comunidade acadêmica será beneficiada à medida que os alunos dos cursos de graduação em engenharia civil passarão a dispor de um software gratuito e aberto para estudo e adaptações para necessidades específicas.

Segundo Reis(2003) um Projeto de Software Livre é uma organização composta por um grupo de pessoas que usa e desenvolve um único software livre. A base do código inicial é normalmente escrita isoladamente por uma pessoa, e lançada posteriormente na internet para discussão e desenvolvimento.

Este trabalho apresenta uma parte do código inicial para o desenvolvimento de um software livre para projeto geométrico de vias baseado em uma modelagem digital do terreno. O programa foi desenvolvido em linguagem Java com orientação a objetos. Procurou-se utilizar uma linguagem de programação com bastante popularidade e portabilidade (capacidade de funcionar em sistemas operacionais diferentes). A orientação a objetos possui uma grande

vantagem de facilitar a reutilização e manutenção dos códigos produzidos. A Figura 1 mostra o desenvolvimento do sistema em plataforma Eclipse.

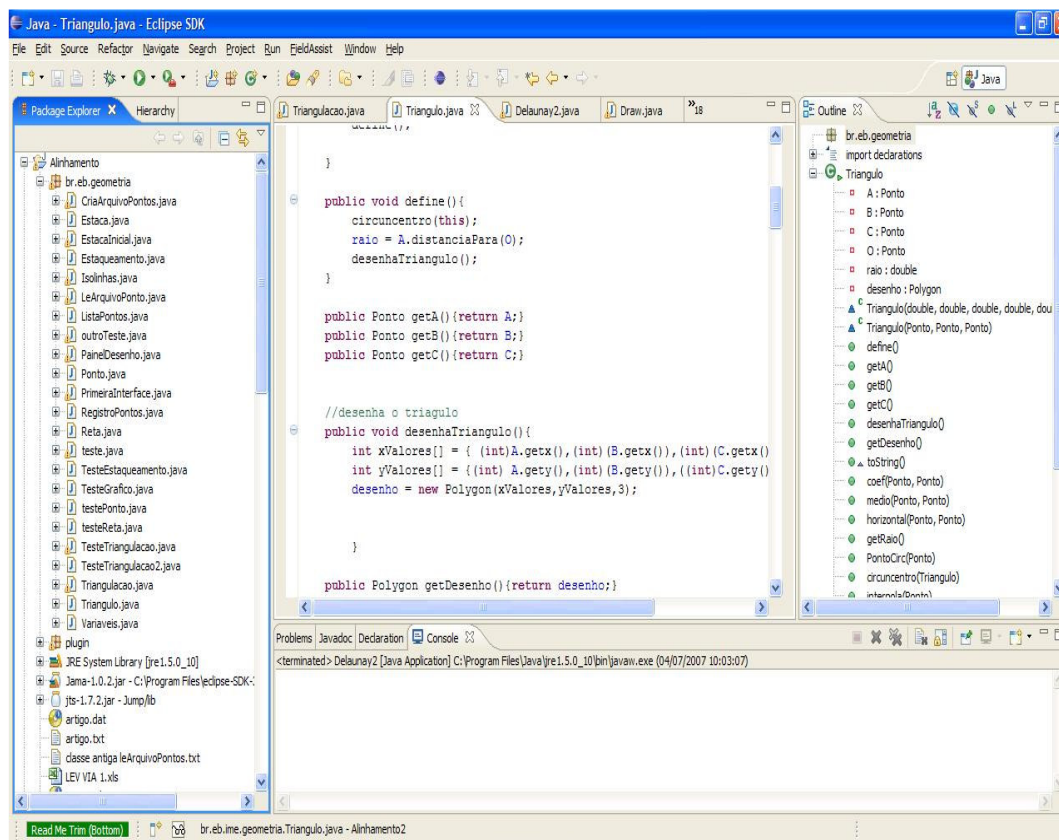


Figura 1: Desenvolvimento do Sistema

A partir de uma amostra de pontos obtidos de uma carta geográfica foi gerado um MDT. Alguns pontos foram retirados aleatoriamente da amostra antes da geração do modelo e foram utilizados como pontos em que se desejava obter as alturas(cotas). Os resultados obtidos mostraram-se aceitáveis, possibilitando que o código desenvolvido seja o primeiro passo para a realização de um projeto automatizado de vias.

2. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA

Existem basicamente duas etapas envolvidas na geração de um MDT: a amostragem e a geração propriamente dita.

O terreno, como superfície, é composto por um número infinito de pontos. Estes pontos possuem características que interessam à sua modelagem: suas coordenadas e sua cota. Devido a impossibilidade de representa-los em sua totalidade é necessário que a superfície seja representada por um número limitado de pontos, caracterizando uma *amostragem* (Oliveira Junior, 2007).

A amostragem pode ser regular (as coordenadas x,y dos pontos estão igualmente espaçadas), semi-irregular (apenas uma direção apresenta espaçamento constante) ou irregular, conforme

pode ser visto na Figura 2. Normalmente os levantamentos topográficos produzem uma amostra irregular.

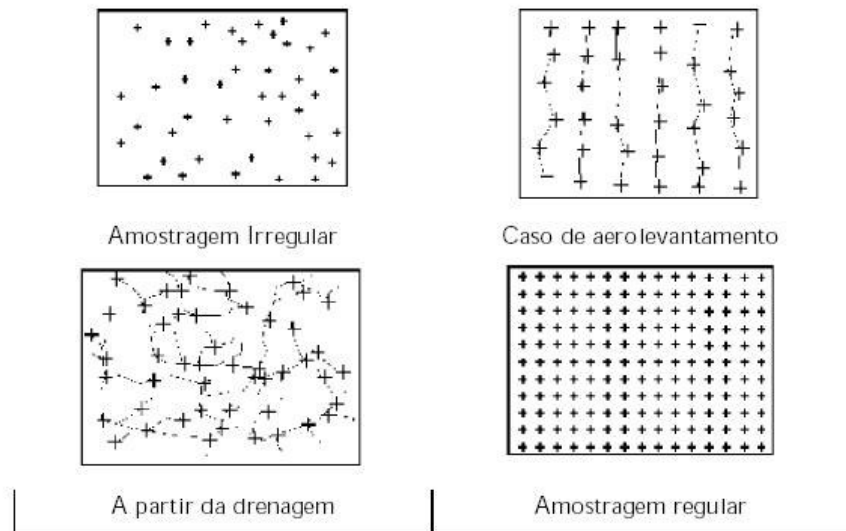


Figura 2: Tipos de Amostragem (Felgueiras e Câmara, 2004)

A geração de um MDT baseado em uma amostra irregular é feita pela produção de uma grade triangular irregular, onde os pontos amostrados são os vértices de triângulos cujas arestas não se cruzam. Das várias triangulações possíveis, a que melhor representa o terreno é a que atende o critério de Delaunay.

Por este critério, o circuncírculo gerado por um triângulo não pode possuir nenhum outro vértice, conforme pode ser visto na figura 3.

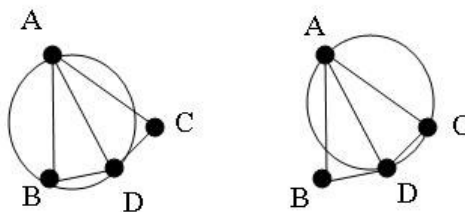


Figura 3: Triangulação de Delaunay (Barbosa *et. al.*, 2003)

2.1. Obtenção de requisitos

A Programação Orientada a Objeto (POO) tem por fundamento a abstração de dados; estes passam se tornam parte de um elemento básico com significado próprio, o objeto (Corte, 2006). Procura-se, desta forma, obter um processo mais natural do que a programação estruturada, pois procura refletir o mundo real. O POO modela os objetos reais, seus atributos

e seu comportamento (Deitel e Deitel, 2001).

Distingue-se linguagens de programação que tendem a ser orientados à ação, como a linguagem C, de outras que buscam efetivamente serem orientadas a objeto, como o Java. Enquanto que os programadores em C concentram-se em escrever funções, os programadores em Java concentram-se em criar seus tipos definidos pelo usuário chamados de classes.

Segundo McLaughlin *et al.* (2007), pode-se classificar como um grande software aquele que é bem projetado, bem codificado e fácil de manter, de reutilizar e de estender. Para isso o projeto de um software deve seguir 3 etapas:

1. Fazer o que o usuário deseja que faça.
2. Aplicar os princípios básicos da orientação a objetos para adicionar flexibilidade.
3. Empenhar-se para ter um projeto reutilizável e que possa ser mantido.

A primeira dificuldade é determinar o que o usuário deseja no programa, o que é feito pelo levantamento de requisitos. Em termos gerais os requisitos traduzem funções específicas que o sistema deve realizar para funcionar corretamente. É feito em linguagem corrente e de fácil atendimento para que seja bem compreendido e possível de ser discutido com o usuário.

O levantamento dos requisitos para o sistema desenvolvido contemplou os seguintes itens:

1. O sistema deverá ler os pontos em arquivo oriundo dos processos topográficos usuais.
2. O usuário poderá selecionar os pontos que deseja usar na triangulação.
3. O sistema executa a triangulação.
4. O sistema deverá fornecer a cota de qualquer ponto não amostrado.
5. O usuário pode salvar os dados.

Os requisitos não são estáticos, e podem, a qualquer momento do desenvolvimento, serem trocados, e é importante que assim o sejam.

2.2. Casos de Uso

Definidos os requisitos do sistema, deve-se levantar os casos de uso.

Um caso de uso descreve o que o sistema faz para atingir um determinado objetivo do cliente. É uma técnica de captura de requisitos potenciais de um sistema novo. Cada caso de uso oferece uma ou mais situações que conduzem como o sistema deve interagir com o usuário final ou com outro sistema para atingir um objetivo específico (McLaughlin, *op. cit.*).

Um dos objetivos definidos baseado nos requisitos levantados é realizar a triangulação de Delaunay. O caso de uso utilizado para este objetivo foi o seguinte:

1. O usuário seleciona os pontos que participarão da triangulação.
2. O sistema captura estes pontos.
3. O triangulador recebe estes pontos.
4. O triangulador realiza a triangulação de Delaunay.
5. O sistema mostra os triângulos gerados.

Um caso de uso também é importante para representar os caminhos alternativos. Para atender o objetivo de ler dados de um arquivo padrão de dados foi utilizado o seguinte caso:

1. O Usuário escolhe em uma interface o arquivo a ser lido.
2. O Conversor de arquivo lê os dados do arquivo e os converte para pontos.
 - 2.1. O Sistema informa que o arquivo não é válido.
 - 2.2. O Sistema retorna ao item 1.
3. O Sistema mostra os pontos lidos ao usuário.

Ao receber do usuário um arquivo para leitura é possível que este não seja do tipo compatível. O sistema deverá, neste caso, utilizar uma nova seqüência prevendo que o usuário seja informado do acontecido e possa escolher novamente o arquivo de dados.

Os objetivos, requisitos e casos de uso conduzem o sistema a solucionar o problema principal de sua existência: a obtenção da cota de um ponto qualquer no interior de uma malha triangular irregular definida pelos pontos amostrados por um processo topográfico qualquer.

2.3. Diagrama de Classes

Na orientação a objetos, a classe possui importância primordial. Segundo Corte (op. cit.) uma classe engloba atributos (ou dados) e métodos (funções) que representam operações que podem ser realizadas sobre os dados. O objeto é uma instância de classe criado em tempo de execução. Cada objeto tem uma cópia dos dados existentes na classe e encapsula estado e comportamento.

Uma boa fonte para levantamento das classes necessárias são os casos de uso. Através da análise dos substantivos existentes várias classes são definidas. No caso de uso da triangulação (item 1) o usuário seleciona os pontos que participarão da triangulação, aparecem três substantivos: usuário, pontos, triangulação. O usuário não gera uma classe por estar externo ao sistema, mas pontos e triangulação já se apresentam como potenciais classes.

O ponto é a classe básica do sistema desenvolvido. Ele é definido por suas coordenadas espaciais (x, y, z) e outros atributos como nome e descrição.

Outra classe importante para o sistema é o triângulo, que é definido pelos três vértices, que nada mais são do que pontos. Para ser criado um objeto triângulo recebe 3 objetos pontos e segue os atributos e métodos definidos em sua classe.

Um método importante para a triangulação de Delaunay é o que verifica se um determinado ponto está no circuncírculo definido pelos seus vértices ou não. É um método que retorna um valor booleano: verdadeiro ou falso. A classe que realiza a triangulação limita-se a enviar um ponto qualquer para um determinado (objeto) triângulo para saber se este ponto encontra-se no circuncírculo ou não, uma operação fundamental por se tratar do atendimento ao critério de Delaunay.

Outros métodos são definidos, como o que verifica se um ponto é interior ao triângulo; o que interpola um ponto para obter sua cota; ou o que simplesmente calcula a área do triângulo. O diagrama da classe Triângulo, com os principais métodos, pode ser observado na Figura 4.

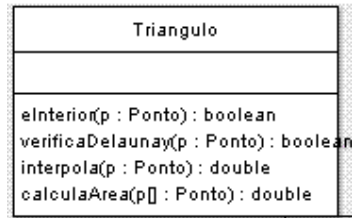


Figura 4: Classe Triângulo

Além de definir as classes, é necessário definir também como as classes relacionam-se entre si. Uma forma de visualizar estas relações é feita pelo diagrama de classe. Uma parte do diagrama elaborado para o sistema pode ser verificado na Figura 5.

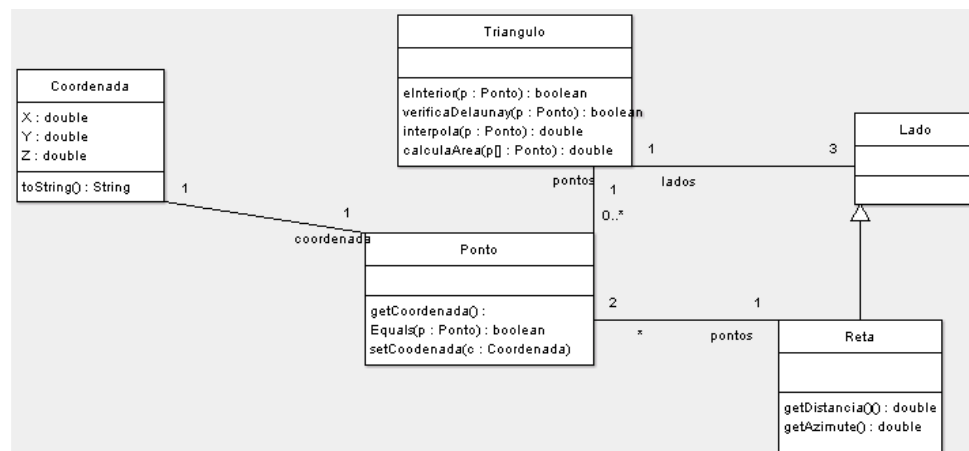


Figura 5: Diagrama de Classes

O código fonte é construído a partir do diagrama de classes. A orientação a objetos permite um reaproveitamento muito grande de classes já existentes em outros projetos, o que reafirma a opção pelo desenvolvimento em ambiente de software livre. A classe que realiza a triangulação, por exemplo, foi obtida no site da Universidade de Princeton. O trabalho do programador consistiu em estudar o código fonte da classe e modifica-lo para os requisitos específicos do sistema, obtendo-se ganho de tempo no desenvolvimento.

3. UMA APLICAÇÃO DO SISTEMA

Para testar o sistema desenvolvido foi obtido um conjunto de pontos de uma carta topográfica. O conjunto inicial era composto de 47 pontos. Deste total, 20 pontos foram separados e não participaram da geração do MDT. Após a geração, foram obtidas as cotas desses 20 pontos e comparadas com as originalmente levantadas.

3.1. Dados da Amostragem

Normalmente os equipamentos topográficos fornecem como opção de saída um arquivo de extensão TXT com os dados levantados no terreno, seguindo determinado padrão. O sistema possui uma classe de leitura deste tipo de arquivos que lê os valores alfanuméricos e os separa em dados de um registro de pontos com as coordenadas (x,y,z), o nome e a descrição do ponto. A partir da cada registro são construídos objetos pontos. A Figura 6 mostra o arquivo do tipo TXT utilizado.

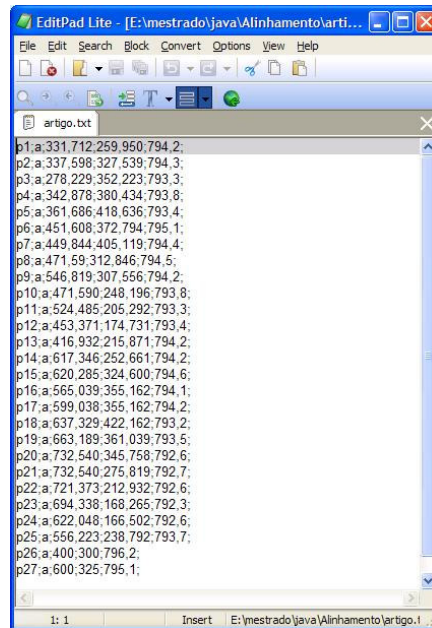


Figura 6: Arquivo de Pontos (formato txt)

3.2. A Triangulação realizada

A classe Triangulação recebe estes pontos e utilizando um algoritmo específico realiza a triangulação seguindo o critério de Delaunay. Cada ponto amostrado participa da formação da malha. Trata-se de uma vantagem da utilização de grades irregulares triangulares, ou seja, a utilização dos próprios pontos amostrados para a interpolação.

Cabe ressaltar que a solução da triangulação de Delaunay é única, existe apenas uma triangulação que atende ao critério do circuncírculo. O número de triângulos formados é variável e depende do número de vértices que se encontram na envoltória convexa. A Figura 7 mostra o resultado da triangulação.

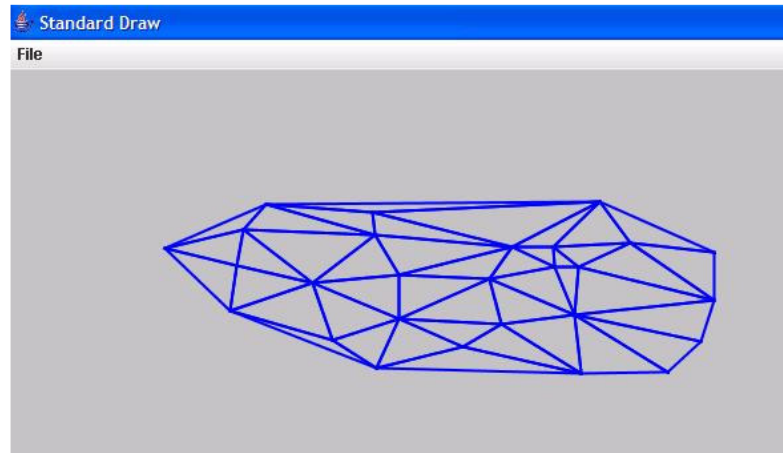


Figura 7: Triângulos formados

3.3 A obtenção de Cotas

Foi utilizado o método do Ajuste Linear para realização da interpolação. Segundo Felgueiras & Câmara (*op. cit.*) considera-se um comportamento linear dentro de cada triângulo. Os três pontos dos vértices determinam a equação do plano no espaço tridimensional, de acordo com a equação:

$$Ax + By + Cz + D = 0 \quad (1)$$

Para estimar a cota de um ponto busca-se o triângulo a que este ponto pertence e através de uma álgebra simples de sistemas lineares obtém-se o valor procurado. A Tabela 1 mostra os valores das cotas na carta e as obtidas pelo sistema e a diferença entre os dois valores para cada ponto.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos mostraram-se aceitáveis, atendendo aos requisitos definidos para o sistema.

4.1. O sistema

O sistema desenvolvido atendeu os objetivos propostos. Foi desenvolvido em uma linguagem de programação bastante popular que possibilita que mais pessoas participem do desenvolvimento. O código inicial, com alguns reajustes, será disponibilizado na internet para que possa ser criticado, melhorado e testado, dentro dos princípios do software livre.

A utilização da orientação a objetos permite uma flexibilidade ao sistema, que poderá ser reutilizado e mantido ao longo do tempo.

Por ter sido desenvolvido em Java, permite também a portabilidade, podendo ser executado em ambientes operacionais diferentes.

Tabela 1: Comparação entre as cotas dos pontos

Ponto	Cota		Diferença
	<i>Carta</i>	<i>Obtida</i>	(m)
0	793,6	793,6	0
1	794,6	794,2	0,4
2	794,4	794,3	0,1
3	795,1	795,7	0,6
4	794,9	795,1	0,2
5	794	794,1	0,1
6	793,7	793,7	0
7	794,7	794,9	0,2
8	794,6	794,5	0,1
9	793,7	793,8	0,1
10	794	794,3	0,3
11	794,1	794,3	0,2
12	793,6	794,6	1
13	794,2	794,2	0
14	793,9	794,2	0,3
15	793,3	793,1	0,2
16	794,9	794,7	0,2
17	794,8	794,3	0,5
18	793,8	793,7	0,1
19	794	793,4	0,6
Média			0,26
Desvio Padrão			0,25

4.2 Atendimento aos critérios

Os triângulos obtidos atenderam ao critério de Delaunay, ou seja, cada triângulo formado não possui nenhum outro vértice no interior de seu circuncírculo. Como a solução para este tipo de triangulação é única o sistema realizou o que se esperava dele.

Os valores de cotas obtidos mostraram-se razoáveis, com erro médio na casa dos 25 cm. Considerando-se que os valores de comparação foram extraídos de uma carta topográfica e, portanto, não se caracterizam como fontes primárias, o erro real é ainda menor.

4.3 Utilização em Projeto de Estradas

O projeto de estradas, principalmente em seu projeto geométrico, possui estreita ligação com a superfície em que a via será construída. Neste contexto, torna-se fundamental a geração do Modelo Digital do Terreno para que o projetista possa desenvolver seu trabalho.

Cada ponto definido pelo projeto necessita da respectiva cota, o que é obtida à partir da triangulação realizada. Para orientar o projeto, faz-se necessário a geração das isolinhas (curvas de nível), as linhas com mesma cota. Estas linhas não fazem parte do MDT propriamente dito, trata-se de uma das inúmeras aplicações do modelo.

5. CONCLUSÕES

O desenvolvimento de um sistema em ambiente de software livre atende à diretriz do Governo Federal e busca obter soluções em que recursos sejam otimizados e uma maior eficiência seja obtida.

Para permitir uma maior flexibilidade e portabilidade foi escolhida a linguagem Java e o paradigma da orientação a objetos. Desta forma torna-se fácil para que outros desenvolvedores participem do desenvolvimento.

Foi apresentado uma parte de um sistema que pretende realizar de forma automatizada o projeto geométrico de uma estrada, do qual o Modelo Digital do Terreno é apenas a primeira etapa. A triangulação de Delaunay atendeu ao critério previsto no método e apresentou valores interpolados para as cotas que mostraram-se aceitáveis.

Recomenda-se que o sistema seja testado para amostras maiores, obtidas diretamente de levantamento topográficos. A qualidade do MDT obtido é essencial para a realização do projeto.

Dentro das soluções em software livre existe um sistema de informações geográficos denominado Jump desenvolvido em linguagem Java. Pela similaridade de aplicações o sistema em desenvolvimento pode ser desenvolvido utilizando este software possibilitando que o projeto possa ser realizado com seus pontos georeferenciados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbosa, R. L., Silva, J. F. C., Meneguete JR, M. e Gallis, R. B. A. (2003) . *Geração de modelo digital do terreno utilizando a triangulação de delaunay e thin plate spline*. Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas.
- Corte, C. K. D.(2006), *Ensino integrado de fundamentos de programação e teste de software*. Dissertação de mestrado. Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - ICMC/USP.
- Deitel, H. M., Deitel, P. J. (2001) *Java, como programar* (3ª edição), Editora Bookman, Porto Alegre.
- Felgueiras, C. A. e CÂMARA, G.(2004) *Introdução à Ciência da Geoinformação*, chapter 7. Modelagem Numérica do Terreno. Livro Online, 2004. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap7-mnt.pdf>.
- GOVERNO FEDERAL, *Diretrizes para a implementação de Software Livre*. Disponível em <http://www.softwarelivre.gov.br/diretrizes/> Capturado em 04/07/2007.
- McLaughlin, B., Police, G., West, D. (2007) *Análise e Projeto Orientado ao Objeto*. Editora Alta Books, Rio de Janeiro.
- Montenegro, A.(2007) *Investigação de novos critérios para inserção de pontos em métodos para simplificação de modelos de terreno através de refinamento*. Dissertação de mestrado, PUC-RJ, Rio de Janeiro.
- Oliveira Junior, M. H. G., Lopes, L. A. S., Leão, M. R. (2007) *Modelo Digital do Terreno: aplicação em projeto geométrico de vias*. Anais do V Rio de Transportes, Rio de Janeiro.
- Pontes Filho, G.(1998) *Estradas de Rodagem Projeto Geométrico*. Instituto Panamericano de Carreteras Brasil, São Carlos. 432 p.
- Reis, C. R. (2003) *Caracterização de um processo de software para projetos de software livre*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo.
- Saleh, A. M. (2004) *Adoção de Tecnologia: um estudo sobre o uso de software livre nas empresas*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Economia da Universidade de São Paulo.