

# Sistema Interativo para Projeto Geométrico de Vias sobre Modelo Digital de Terreno

REYNALDO COSATI MEDEIROS<sup>1</sup>  
PAULO CEZAR PINTO CARVALHO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Civil - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro  
R. Marques de São Vicente, 225, 22451-041 Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
cosati@civ.puc-rio.br

<sup>2</sup>IMPA- Instituto de Matemática Pura e Aplicada  
Estrada Dona Castorina, 11, 22460 Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
pcezar@visgrafimpa.br

**Abstract.** In this paper, we propose an interactive system to support the geometric design of roads, which is seen as a specially structured geometric modeling problem. The several steps of road design are described, together with the necessary geometric modeling tools. The proposed system provides four views integrating all these phases and giving immediate feedback when a change is made in any of them.

**Keywords:** DTM (Digital Terrain Model), Roadways.

## 1 Introdução

Este trabalho descreve um ambiente computacional interativo (cuja elaboração está em andamento) para auxiliar o projeto geométrico de estradas. O projeto geométrico de uma estrada pode ser visto como um problema de modelagem geométrica de características especiais. Descrevemos abaixo, de maneira simplificada, as etapas envolvidas [DNER 1975].

O ponto de partida para o projetista é 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. Tal curva pode ser matematicamente representada por uma equação da forma  $z=g(w)$ ,

onde  $w$  é o comprimento medido ao longo da poligonal ajustada. Tomando como base o perfil, o projetista lança o chamado **greide** da estrada, que é uma linha poligonal 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 lançamento do **greide** (que constitui o chamado **projeto vertical** da estrada), o projetista necessita, portanto, considerar o posicionamento sobre o terreno da plataforma da estrada (que passa a ser vista como uma superfície com bordo). A plataforma fica definida através de sua seção transversal em cada ponto do eixo. A seção transversal, por sua vez, é determinada, em quase todos os pontos por parâmetros pré-fixados (largura da plataforma, super-elevação de curvas, visibilidade, etc).

Para o projetista, além da informação visual relacionando a seção transversal do terreno e da plataforma, é importante avaliar o volume de terra (corte ou 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.

## 2 O Sistema

A idéia principal do sistema é permitir a integração das diversas fases de projeto acima descritas, de modo que qualquer alteração realizada em uma delas seja imediatamente refletida nas demais.

Para tal, o sistema suporta quatro vistas simultâneas (fig. 1):

- vista de topo: contém o modelo digital de terreno, visualizado através de curvas de nível; nesta vista, é realizado o projeto horizontal.
- vista de perfil: representa o perfil do terreno e da estrada, ao longo da poligonal escolhida; o projeto vertical é feito nesta vista.
- vista transversal: representa a seção transversal em um ponto; a posição deste ponto pode ser definida em qualquer uma das vistas anteriores.
- diagrama de Bruckner: representa o volume acumulado de corte e aterro em cada ponto.

Cada uma das vistas propostas possui um processo de geração independente, encapsula operações específicas de projeto e possui um módulo executável.

A integração entre as vistas é obtida através da utilização de tecnologia DDE (Dynamic Data Exchange) dentro do ambiente Microsoft Windows, que permite que instâncias de módulos executáveis se comuniquem, trocando informações.

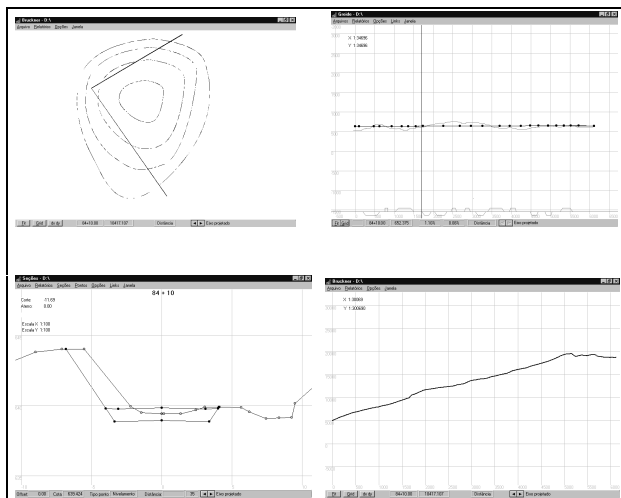


Fig. 1: As quatro vistas (planta, perfil, seção e volumes)

## 3 Captação dos Dados e Geração do MDT

As informações do terreno são normalmente obtidas através da locação de uma linha-base (*poligonal principal*) que é registrada no campo em intervalos de

no máximo 20 metros. Por cada registro da linha é traçada uma seção transversal e nela são levantados os pontos de mudança de inclinação, em uma largura de 100 a 200 metros. Os pontos da linha-base e os pontos das seções transversais são os vértices dos polígonos que formam o modelo digital de terreno. Acidentes de terreno, tais como talwegues, linhas de cumeeada e linhas de estrutura, devem também ser levados em conta no modelo (seus segmentos deverão obrigatoriamente ser arestas dos polígonos que compõem o MDT).

A partir dos pontos e segmentos de reta descritos acima, o MDT pode ser obtido utilizando-se, por exemplo uma triangulação de Delaunay com restrições [De Floriani 1992] realizada no plano horizontal. Ao longo do trabalho, investigaremos algoritmos para obter tal triangulação que explorem a estrutura especial dos dados e estudaremos a possibilidade de usar outras triangulações (que levem em conta as alturas do terreno).

## 4 Estrutura de Dados

Os dados são armazenados com auxílio de um gerenciador de banco de dados relacional, através de 28 tabelas. Na maior parte das tabelas, a chave primária é a *estaca*, que representa a posição de uma seção transversal ao longo do eixo da estrada. A centralização do modelo em torno desta entidade permite explorar a estrutura especial dos dados de terreno e obter informações geométricas de modo localizado e eficiente.

## 5 Resultados Esperados

O sistema em desenvolvimento deverá permitir a integração das diversas etapas do projeto geométrico de vias, reduzindo o tempo de projeto e permitindo melhores soluções sob os pontos de vista técnico e econômico.

## Referências

- DNER *Normas para o Projeto Geométrico de Estradas de Rodagem*. Ministério dos Transportes, DNER, Diretoria de Planejamento, Rio de Janeiro, 1975.
- De Floriani, L. and Puppo, E. *An on-line algorithm for constrained Delaunay triangulation*. Computer Graphics Models and Image Processing, 54 (3):290-300, julho 1992.