

APERFEIÇOAMENTO METODOLÓGICO DO ENSINO DE PROJETO GEOMÉTRICO DE RODOVIAS COM AUXÍLIO DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL

David C. R. P. Grubba¹; Sérgio P. Soncim²; Walter S. Silva Jr.³; J. Leomar F. Jr.⁴;

USP - Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Transportes

Av. Trabalhador São-carlense, 400.

CEP: 13566-590, São Carlos, São Paulo.

¹ davidgrubbajf@yahoo.com.br

² sergips@ufba.br

³ wsidronio@yahoo.com.br

⁴ leomar@sc.usp.br

Resumo: O projeto geométrico de uma rodovia é representado por plantas, perfis longitudinais e seções transversais. Tradicionalmente, os alunos de engenharia civil aprendem como realizar um projeto geométrico de rodovia utilizando materiais de desenho simples, como réguas, compassos e transferidores, ou programas de CAD, e calculam os elementos do projeto com calculadoras ou com o auxílio de planilhas eletrônicas. A realização do projeto dessa forma é importante, pois ajuda a fixar os conceitos fundamentais. Todavia, essa metodologia não é completa porque não permite a visualização da via em três dimensões nem possibilita rapidez no estudo de traçados alternativos, ou seja, não favorece imediata percepção das conseqüências de mudanças no projeto. O objetivo deste artigo é apresentar as etapas necessárias para a realização de um projeto geométrico de rodovias utilizando uma ferramenta computacional, analisando-se de forma comparativa o ensino tradicional com o informatizado. A ferramenta escolhida foi o “InRoads”, programa que integra diversos recursos interativos e permite que os estudantes projetem de forma eficiente, visualizem o projeto em três dimensões e experimentem diferentes alternativas de traçado. Na Escola de Engenharia de São Carlos - USP, o InRoads é ensinado aos alunos do quarto ano do curso de Engenharia Civil, na disciplina “Complementos de Projeto Geométrico de Rodovias”. As evidências até o momento, apesar do pouco tempo de implementação dessa experiência, indicam um aumento no interesse dos alunos e também que o processo de ensino e aprendizagem de projeto geométrico de vias ficou facilitado.

Palavras-chave: ensino; rodovias; projeto geométrico; programas computacionais.

1. INTRODUÇÃO

O projeto geométrico é a parte do projeto de estradas que estuda as diversas características geométricas do traçado em função das leis do movimento, do comportamento dos motoristas, das características de operação dos veículos e do tráfego, de maneira a garantir uma estrada segura, confortável e eficiente, com o menor custo possível (PIMENTA e OLIVEIRA, 2004), não só de construção, mas durante a vida em serviço.

A representação do projeto geométrico, tradicionalmente, é feita por meio de plantas, perfis e seções transversais em planos distintos (Figura 1). No entanto, esses elementos devem ser pensados de forma conjunta para que sua disposição espacial seja harmoniosa e segura.

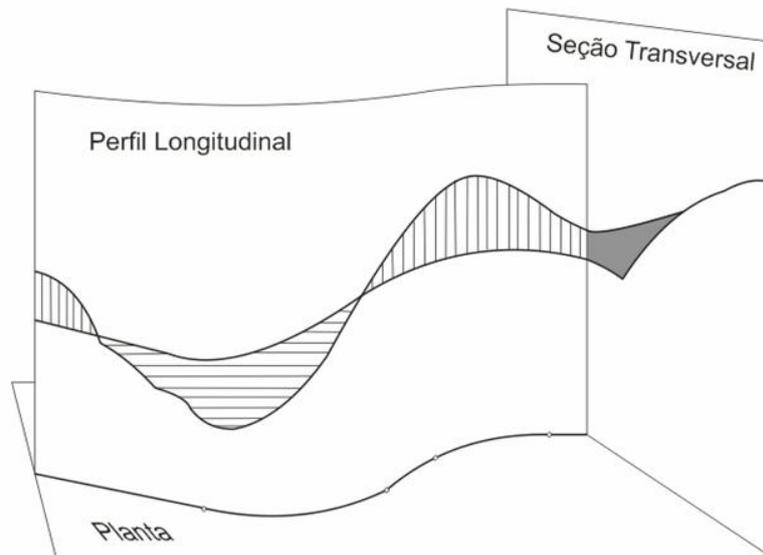


Fig. 1 – Elementos de um Projeto Geométrico de Rodovia (PIMENTA e OLIVEIRA, 2004).

A representação tradicional apresenta limitações quanto à visualização do projeto geométrico de uma rodovia. Porém, quando são utilizadas ferramentas computacionais, prática comum há vários anos no Canadá e nos Estados Unidos (HANSSAN, 1998), é possível ao projetista visualizar seus estudos em três dimensões e também simular o percurso, do ponto de vista do motorista.

No Brasil, mesmo com as rápidas mudanças na sociedade, ocorridas nos últimos anos, causadas pelo avanço tecnológico, a educação ainda caminha em ritmo lento no que se refere à informatização dos processos de ensino (PEREIRA, 2005). Dentro desse paradigma, a utilização de ferramentas computacionais na educação é uma alternativa interessante. No caso específico de projeto geométrico de vias, o emprego de tal tecnologia permite que os alunos projetem de forma eficiente, visualizem a rodovia em três dimensões e experimentem diferentes alternativas de traçado, melhorando assim o processo de ensino e aprendizagem e diminuindo o descompasso existente entre o ensino praticado e o nível atual de conhecimento na área.

Os alunos de Engenharia Civil da Escola de Engenharia de São Carlos – USP, na disciplina obrigatória “Estradas I”, elaboram um projeto geométrico didático de uma rodovia ligando a Estrada do Broa à Rodovia Washington Luiz, ambas localizadas na região de São Carlos-SP. O projeto, desenvolvido manualmente, no máximo com auxílio de um CAD, consiste na definição do alinhamento horizontal, do perfil vertical, das seções transversais da rodovia e no cálculo dos volumes de terraplenagem. Tem por finalidade sedimentar os conceitos fundamentais apresentados nas aulas teóricas e de exercícios. Posteriormente, os alunos têm oportunidade de aprofundar seus conhecimentos na disciplina optativa “Complementos de Projeto Geométrico de Rodovias”, em que são desenvolvidas as diversas etapas do mesmo projeto, só que, agora, com auxílio de uma ferramenta computacional.

Existem diversos programas computacionais para projeto geométrico de rodovias, como o “*Topograph*” e o “*Datageosis*”. Nessa experiência, está sendo utilizada uma versão acadêmica do programa “*InRoads*”, adquirida em 1995 da “*Intergraph Software*”, e atualizada recentemente para a versão compatível com o sistema operacional “*Microsoft Windows*”. Na época de sua aquisição, o “*InRoads*” foi escolhido por ser a melhor ferramenta, do ponto de vista acadêmico, e a mais utilizada mundialmente, em termos profissionais.

O objetivo deste artigo é apresentar as etapas necessárias para a realização de um projeto geométrico de rodovias utilizando uma ferramenta computacional, analisando-se, de forma comparativa, o ensino tradicional com o informatizado.

2. TRAÇADO HORIZONTAL

O traçado horizontal consiste de uma série de trechos retos (tangentes) e curvas circulares, com ou sem transição. Uma forma de definir o traçado é acomodar as tangentes no terreno em função da topografia e demais obstáculos existentes e depois concordá-las por meio de curvas (PIMENTA e OLIVEIRA, 2004).

Segundo Thagesen (1996), o objetivo de um engenheiro, ao projetar uma rodovia, é escolher o traçado que providencie um balanço entre as necessidades da população e os custos. Deve se observar que qualquer problema que não for enfrentado pelos engenheiros na fase de projeto, terá de ser enfrentado pelos usuários toda vez que tiverem a necessidade de transpor o trecho correspondente (SENÇO, 1980).

No projeto manual, os alunos realizam o traçado horizontal sobre uma planta de curvas de nível, obtida de reconstituição aerofotogramétrica da região estudada. Quando do ensino informatizado, realizam a mesma etapa sobre uma representação digital do terreno. Essa representação em três dimensões, com escala vertical aumentada em dez vezes, pode ser vista na Figura 2.

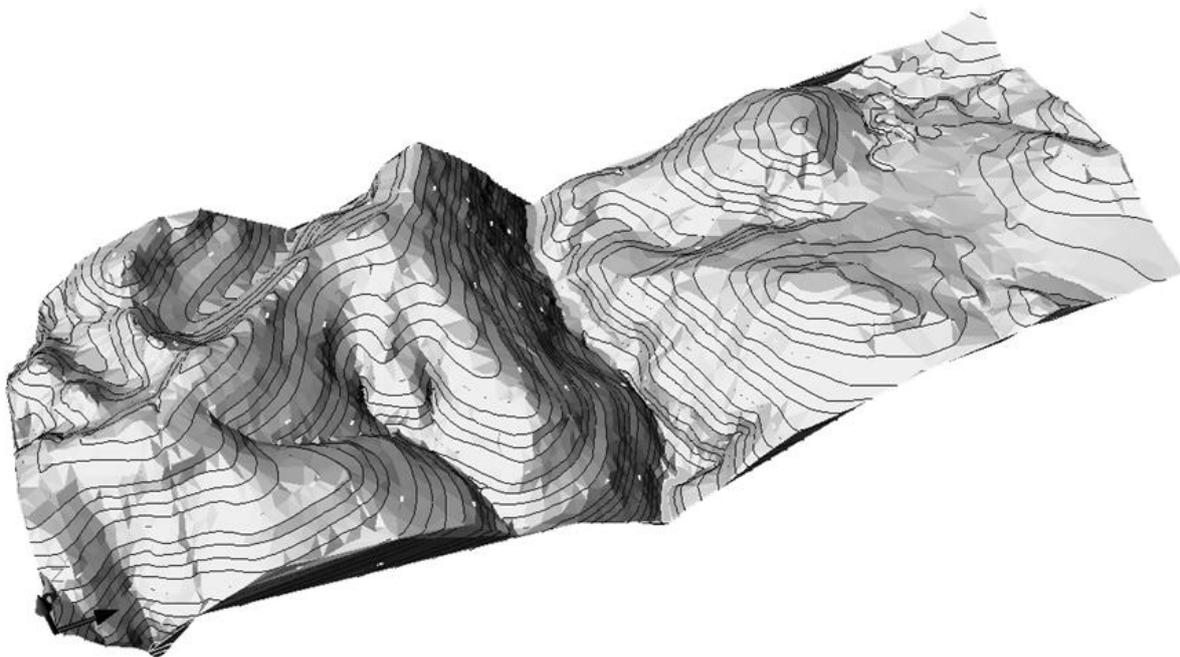


Fig. 2 – Representação Digital e Tridimensional do Terreno.

Ao realizarem o traçado horizontal, os alunos definem os Pontos de Interseção (PIs) das tangentes, em seguida ligam esses pontos por segmentos de retas. Ao escolherem os PIs, procuram harmonizar o traçado com a superfície do terreno, de forma a minimizar as operações de terraplenagem e a extensão da rodovia. Após a definição dos PIs, partem para a escolha dos raios das curvas circulares.

Na forma tradicional, os alunos calculam os raios mínimos, em seguida escolhem os raios com o auxílio de gabaritos. Posteriormente, calculam os demais elementos da curva (desenvolvimento e comprimentos de tangentes) e traçam as curvas sobre o alinhamento, utilizando transferidores, compassos e esquadros.

No processo informatizado, o programa calcula o raio mínimo de cada curva e os alunos adotam um valor igual ou superior ao mínimo. Automaticamente os elementos da curva são mostrados na tela. Os alunos, então, visualizam o trecho curvo (Figura 3) e repetem o processo para as demais curvas do projeto didático.



Fig. 3 – Traçado horizontal após a definição da primeira curva.

Depois de definidas as curvas, o traçado inicial pode ser visualizado sobre o terreno e, posteriormente, comparado com as demais alternativas propostas. Deve-se destacar que os alinhamentos podem ser editados a qualquer momento do projeto, sendo possível adicionar, deslocar ou excluir PIs e alterar os tipos (curva circular simples e com transição) e os raios de curvas rapidamente. Após as modificações, o programa recalcula todos os elementos do projeto e mostra instantaneamente a nova alternativa.

A facilidade de alteração dos elementos permite que mais conceitos possam ser abordados durante o processo de aprendizagem, à medida que as dúvidas sobre o traçado “ideal” vão surgindo. Depois de definido o traçado horizontal, o aluno decide como as notações serão inseridas no desenho (estaqueamento, pontos notáveis, informações sobre raios de curva etc.). A Figura 4 mostra a representação de um traçado horizontal final, já com o estaqueamento.

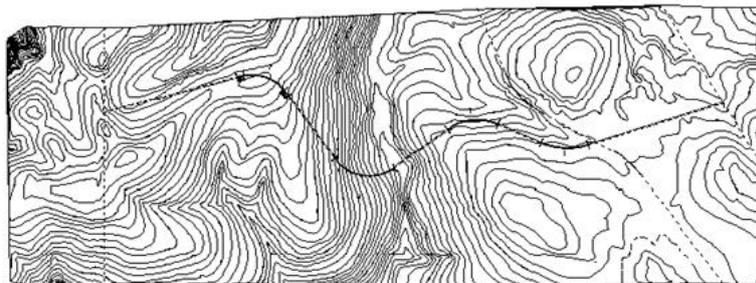


Fig. 4 – Traçado horizontal, com estaqueamento, após a definição das curvas.

3. PERFIL LONGITUDINAL

Posteriormente à escolha do traçado horizontal, define-se o projeto em perfil. Nesse momento é possível analisar a topografia do terreno por onde passará a rodovia. Segundo Lee (2000), no projeto em perfil, o objetivo principal é definir a geometria da linha que corresponde ao eixo da rodovia, representada no plano vertical e denominada de greide da rodovia (ou *grade*, do original em inglês).

No projeto manual, os alunos representam, de forma aproximada, o perfil do terreno sobre uma folha quadriculada, com base nas cotas das curvas de nível que o traçado horizontal intercepta. Em seguida, definem o *greide* da rodovia, com base em diversos critérios técnicos, tais como, inclinações de rampas e alturas de corte e aterro máximas e mínimas. As curvas verticais são representadas por parábolas, com comprimentos mínimos definidos através de cálculos de distâncias de visibilidades.

Nessa etapa, os alunos encontram uma série de dificuldades em atender aos critérios de rampa e alturas máximas de cortes e aterro impostos pelo professor, por ser a região estudada de topografia montanhosa e apresentar regiões mais planas com solo mole, que devem ser evitadas. Mesmo quando não atendem aos critérios propostos, em virtude do tempo escasso e dos procedimentos manuais serem vagarosos, os alunos acabam mantendo o traçado inicialmente adotado. Verifica-se, também, que a maioria dos estudantes não consegue compatibilizar o projeto horizontal com o vertical.

A representação do perfil do terreno, no projeto computacional (Figura 5), é obtida a partir do alinhamento projetado anteriormente. Assim, pode ser incluído o esquema de curvas horizontais para facilitar a compatibilização das curvas horizontais com as verticais. A definição dos pontos de interseção verticais (PIVs) do greide pode ser feita de forma gráfica (aproximada com o auxílio do cursor do “mouse”) ou através da definição de cotas e distâncias. O comprimento mínimo de cada curva vertical (L_v) pode ser calculado por diversos métodos, facilitando ao aluno a escolha de um valor igual ou superior ao mínimo. Observa-se que, em oposição ao projeto manual, no projeto informatizado diversas alternativas podem ser testadas, o que facilita a obtenção de curvas tridimensionais, harmoniosas e seguras.

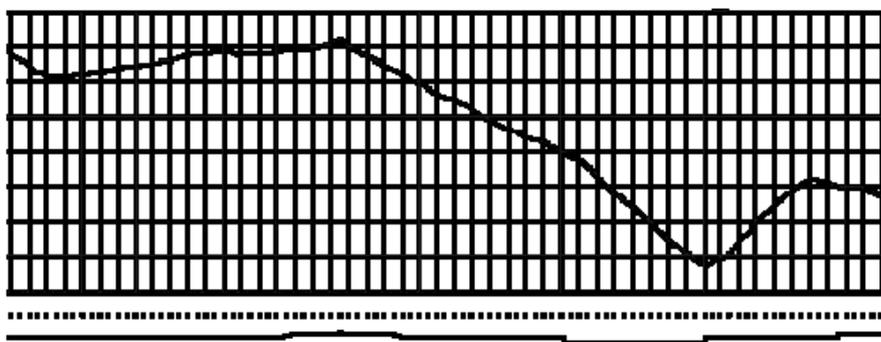


Fig. 5 – Perfil Longitudinal do Terreno com esquema de curvas horizontais na parte inferior.

Ao perfil longitudinal é permitido adicionar diversas anotações. Essas informações se comportam de forma dinâmica, ou seja, quando o perfil é modificado, as anotações são

alteradas imediatamente, sem que haja necessidade de edição, poupando tempo e minimizando erros rotineiros de digitação.

4. SEÇÕES TRANSVERSAIS

Seções transversais são planos verticais, perpendiculares à projeção horizontal do eixo, normalmente localizadas nas estacas inteiras e em outros pontos onde são necessárias (PIMENTA e OLIVEIRA, 2004). Têm por finalidade apresentar os taludes de cortes e aterros, a declividade transversal das pistas de rolamento e dos acostamentos, os elementos de drenagem superficial e subterrânea, dentre outros.

No projeto manual, os alunos desenham, com detalhes, apenas uma seção transversal, em virtude do pouco tempo disponível. Nas outras seções, o terreno é adotado como transversalmente plano, na forma de um trapézio, para simplificação de cálculos de terraplenagem.

No projeto informatizado, a representação tridimensional da via resulta da combinação das seções transversais com os traçados horizontal e vertical. O aluno define as seções que serão adotadas para a construção da estrada e, em seguida, especifica as inclinações dos taludes de corte e de aterro em função da altura, do tipo de material e das restrições à faixa de domínio. Após definir as seções transversais, salva cada tipo de seção em um arquivo separado, possibilitando assim, a criação de uma biblioteca de seções típicas. A Figura 6 mostra alguns exemplos de seções transversais obtidas do programa *InRoads*.

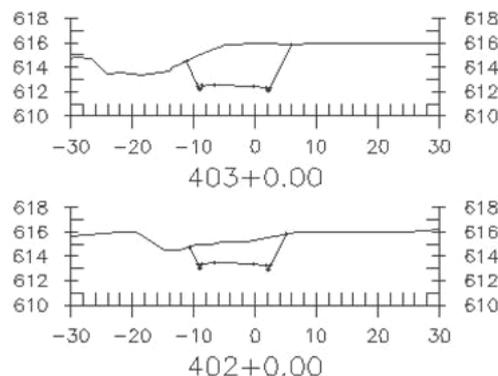


Fig. 6 – Exemplos de Seções Transversais Obtidas do Programa *InRoads*.

5. CÁLCULO DE VOLUMES

Na maioria dos projetos de estradas, o custo de terraplenagem representa uma significativa parcela do custo total da obra. Os estudos necessários para a minimização dos custos de terraplenagem, na busca de redução dos volumes de empréstimos e bota-foras, passam pelo cálculo dos volumes de corte e aterro.

Na forma tradicional, o estudante calcula o volume de cada segmento compreendido entre duas seções consecutivas, multiplicando a média de suas áreas trapezoidais pela distância entre as seções. Os volumes dos cortes e dos aterros são obtidos pela somatória dos volumes de cada segmento.

No caso do projeto desenvolvido com o auxílio do programa *InRoads*, os alunos, primeiramente, modelam a superfície da rodovia tridimensionalmente (Figura 7). Em seguida,

decidem o método de cálculo de volumes, podendo escolher entre três métodos: triangulação, que calcula o volume entre a superfície do terreno e a da via e é o de maior acurácia; malhas, que estima o volume entre duas superfícies, envolvendo-as com uma malha e calculando o volume em seu interior; área média entre estacas, que faz o cálculo de volume usando as seções transversais ao longo do eixo da rodovia.

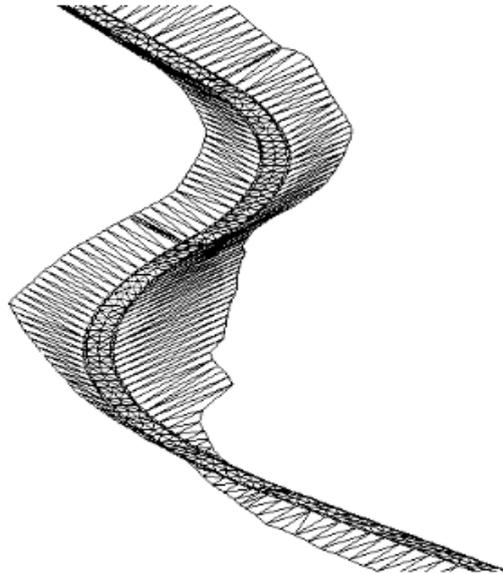


Fig. 7 – Modelagem Tridimensional da Rodovia.

6. AVALIAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

A avaliação completa, com medições de desempenho e aceitação dos alunos, ainda não pode ser realizada. Na EESC/USP, é feita uma avaliação de todas as disciplinas, pelos alunos, através da internet, porém esses dados só ficam disponíveis após um ano. Portanto, a avaliação da ferramenta analisada neste trabalho foi baseada na opinião dos alunos manifestada diretamente aos docentes. Futuramente, haverá condição de comparar as avaliações dos alunos antes e depois da implantação do novo método.

7. CONCLUSÕES

As evidências até o momento, apesar do pouco tempo de implementação da experiência de utilização de programa computacional para o desenvolvimento de um projeto didático de geometria de uma rodovia, indicam um aumento de interesse dos alunos e também que o processo de ensino e aprendizagem ficou facilitado.

Além da possibilidade de visualização em três dimensões, um outro fator extremamente favorável à utilização de um programa computacional é a facilidade de modificações que podem ser feitas após o aluno concluir a última etapa do processo, em que ele analisa os resultados obtidos e decide se quer ou não alterar seu projeto. Qualquer alteração, seja nas tangentes, nas curvas horizontais, nas rampas, nas curvas verticais ou nas seções transversais, modifica automaticamente o restante do projeto, enquanto que, na forma tradicional, tais alterações são quase impossíveis de ser realizadas, devido ao grande número de cálculos e desenhos que teriam de ser refeitos.

Portanto, pôde-se constatar que a interatividade das ferramentas computacionais motiva o aluno a buscar novas alternativas para aperfeiçoar seu trabalho e possibilita que mais conceitos sejam abordados durante o processo de aprendizagem, contribuindo, assim, para a formação de profissionais mais preparados para o mercado de trabalho.

Agradecimentos

À CAPES, pela concessão de bolsas de mestrado, ao CNPq, pela concessão de bolsa de doutorado, e à USP, pelo auxílio através do Programa de Aperfeiçoamento de Ensino (PAE-USP).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HANSSAN, S. M. E. State-of-the-art of three-dimensional highway geometric design. **Canadian Journal of Civil Engineering**, Vol 25, p. 500-511, 1998.

LEE,S.H. **Projeto Geométrico de Vias** - Apostila. Florianópolis. UFSC. 2000.

PEREIRA, M.A. **Ensino-aprendizagem em um contexto dinâmico – o caso de Planejamento de Transportes**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005.

PIMENTA, C.R.T. e Oliveira, M. P. **Projeto Geométrico de Rodovias**. São Carlos: Ed. Rima. 2004.

SENÇO, W. **Estradas de Rodagem: Projeto**. São Paulo: Grêmio Politécnico. 1980

THAGESSEN, B. **Highway and Traffic Engineering in Developing Countries**. Londres: E & F N Spon. 1996.

METHODOLOGICAL IMPROVEMENTS OF TEACHING ROADWAY GEOMETRIC DESIGN USING A COMPUTATIONAL TOOL

Abstract: *Usually, Civil Engineering students learn how to do geometric design with simple manual tools as compasses and straightedges. CAD and electronic spreadsheets also help them to calculate project elements. The learning process in this way is very important because it sediments the key concepts. However, it lacks the 3-D viewing and alternative routes visualization. This paper presents and discusses the steps for geometric design of roadways using a computational tool, comparing them with the traditional way of teaching. InRoads was the software chosen due to its simple tools and for allowing the students to have an easier learning. InRoads has been taught at the Engineering School of Sao Carlos – University of Sao Paulo in an elective discipline (“Complements of Geometric Design of Highways”) issues and, despite the short time of its implementation, there are strong evidences that the students have increased their interest on roadway geometric design and that the learning and teaching process has been facilitated.*

Key-words: *teaching; highways; geometric design; software.*