

GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO PLANEJAMENTO, PROJETO E GERENCIAMENTO DE VIAS DE TRANSPORTE

Cézar Henrique Barra Rocha

Universidade Federal de Juiz de Fora - Faculdade de Engenharia, Departamento de Transportes -

Caixa Postal 422, CEP 36001-970, Juiz de Fora - Minas Gerais - Brasil

TEL 55 032 229-3402 - FAX 55 032 229-3401 E-mail:

ufchbr@fusoos.com.brchbr@lacee.ufjf.br.

RESUMO

O planejamento, projeto e gerenciamento de vias de transporte, tornou-se mais interessante e preciso com a aplicação das ciências e técnicas do Geoprocessamento. A utilização de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), pode auxiliar desde o planejamento, onde verifica-se a necessidade de uma via, o seu projeto básico otimizado através do cruzamento de informações como topografia - modelo digital do terreno (MDT), geologia-geotecnia (mapeamento geotécnico), hidrologia, uso e ocupação do solo e outras; o seu projeto executivo com o uso de instrumentos eletrônicos (estações totais, níveis digitais, à laser e GPS); e o seu gerenciamento. O banco de dados deste, será formado por dados espaciais e atributos georeferenciados, obtidos de digitalização (mapas e fotos existentes), fotogrametria, sensoriamento remoto, geodésia (GPS) e levantamentos de campo. O Geoprocessamento será utilizado em todas etapas, fornecendo informações confiáveis que poderão ser atualizadas sistematicamente.

1. INTRODUÇÃO

Para facilitar o entendimento, definir-se-á o Geoprocessamento, com suas ciências e técnicas, para depois aplicá-lo no Planejamento, Projeto e Gerenciamento de Vias de Transporte.

O Geoprocessamento pode ser definido como o conjunto de tecnologias de coleta e tratamento da informação espacial, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações. As tecnologias ligadas ao Geoprocessamento envolvem equipamentos, hardwares e softwares com diversos níveis de sofisticação e aplicações nos diversos ramos da ciência.

Este conjunto é gerenciado por um Sistema de Informação Geográfica. As tecnologias para aquisição destes dados englobam a Digitalização, a Fotogrametria, o Sensoriamento Remoto, a Geodésia e os Levantamentos de Campo que formarão a base cartográfica e de atributos da região Geoprocessada. Descrever-se-á, a seguir, as principais características destas tecnologias.

2. SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

O SIG é um conjunto de programas, equipamentos, metodologias, dados e pessoas, perfeitamente integrados, de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, a recuperação, o tratamento e a análise de dados geo-referenciados, auxiliando as tomadas de decisões e dando suporte às atividades de planejamento, projeto, gerenciamento, manutenção e operação.

Segundo Calijuri & Meira (1997), o SIG compreende quatro elementos básicos que operam em um contexto institucional: hardware, software, dados e profissionais. O sistema é constituído basicamente dos seguintes módulos:

- Banco de Dados Espaciais e de Atributos;
- Sistema de Apresentação Cartográfica;
- Sistema de Digitalização de Mapas;
- Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD);
- Sistema de Análise Geográfica (overlay);
- Sistema de Processamento de Imagens;
- Sistema de Análises Estatísticas.

Alguns SIGs também possuem Sistemas de Modelagem Digital do Terreno (MDT), que é a descrição matemática do terreno através de uma função de interpolação. O MDT contribui para a otimização de projetos, permitindo calcular diretamente volumes, áreas, gerar mapas de curvas de nível, declividade, perfis, seções transversais e modelo 3D do terreno.

O banco de dados de um SIG é composto por dois elementos: um banco de dados espaciais, que descreve as características geográficas da superfície (forma e posição), e um banco de dados de atributos, que descreve as qualidades destas características. Tratar-se-á, a seguir, das formas de aquisição destes dados.

2.1. Digitalização

A Digitalização vem a ser o processo de transferência das informações gráficas em papel (mapas ou fotos já existentes) para a forma digital. Pode ser utilizado uma mesa digitalizadora ou um scanner com os respectivos softwares de interface e edição (raster e vetorial no caso do scanner). Maiores detalhes vide Rocha (1994).

2.2. Fotogrametria

A Fotogrametria utiliza câmeras situadas na terra ou numa aeronave para obter fotografias de objetos físicos e do meio ambiente, executando-se medidas e interpretação sobre estas imagens. Utilizando-se duas imagens superpostas obtém-se a estereoscopia do terreno (visão 3D). Através de um instrumento denominado Restituídor Fotogramétrico, faz-se a restituição das fotos aéreas, obtendo-se cartas planialtimétricas. Querendo-se apenas a planimetria do terreno, pode-se utilizar as Ortofotos (restituição mais rápida e com custo menor) ou os Mosaicos Controlados (conjunto de fotografias recortadas e montadas com a utilização de pontos de controle).

Segundo Silva (1994), cabe destacar neste processo, a utilização cada vez maior da Fotogrametria Digital, que vem desenvolvendo-se devido aos avanços das técnicas de tratamento e correlação de imagens e medição em tempo real. O sistema é baseado em PC com monitor de alta resolução e um estereoscópio acoplado. As imagens são capturadas através de scanners, realizando-se a restituição digitalmente. Na figura 2.2, tem-se o DVP da Leica.

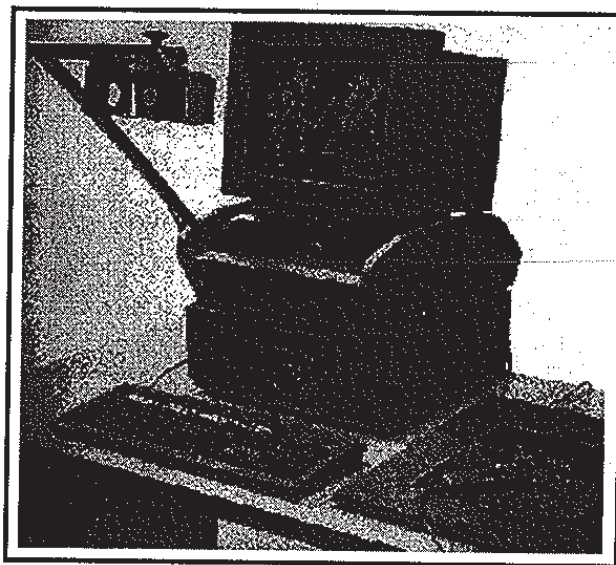


Figura 2.2 : Estação Fotogramétrica Digital DVP (Digital Vídeo Plotter) - Leica.

2.3. Sensoriamento remoto

O Sensoriamento Remoto utiliza modernos sensores a bordo de aeronaves ou satélites, equipamentos para transmissão, recepção, armazenamento e processamento de dados, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre nos domínios espacial, temporal e físico, através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra. Existem diversos sistemas disponíveis comercialmente, destacando-se o Sistema Landsat TM (EUA), Sistema SPOT (França) e Sistema ERS (Europa). O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) está desenvolvendo com a China o Sistema CBERS (China-Brasil), e negociando a recepção e processamento dos dados dos Sistemas Radarsat (Canadá) e IRS (Índia). As resoluções espaciais e larguras das faixas imageadas por estes satélites estão na tabela 2.3.

Tabela 2.3
Resolução espacial e larguras das faixas imageadas pelo Satélite

SATÉLITE	RESOLUÇÃO (metros)	LARGURA DA FAIXA (Km)
LANDSAT TM	Multiespectral (cor) - 30	185
SPOT	Multiespectral (cor) - 20 Pancromático (P/B) - 10	60
ERS	Banda C (5,3 Ghz) - 30	100
CBERS	Câmeras CCD - 20	120
RADARSAT	Banda C (5,3 Ghz) - 10	50
IRS	Pancromático (P/B) 10	70

Cabe-se destacar o Sistema SPOT, com resoluções de 10 à 20 metros, possibilidade de programar a aquisição de imagens de qualquer área nas escalas de 1: 25.000 à 1: 400.000 e pares estereoscópicos, que possibilitam a restituição e geração do MDT. Na figura 2.3, apresenta-se uma imagem do Sistema SPOT Multispectral XS.

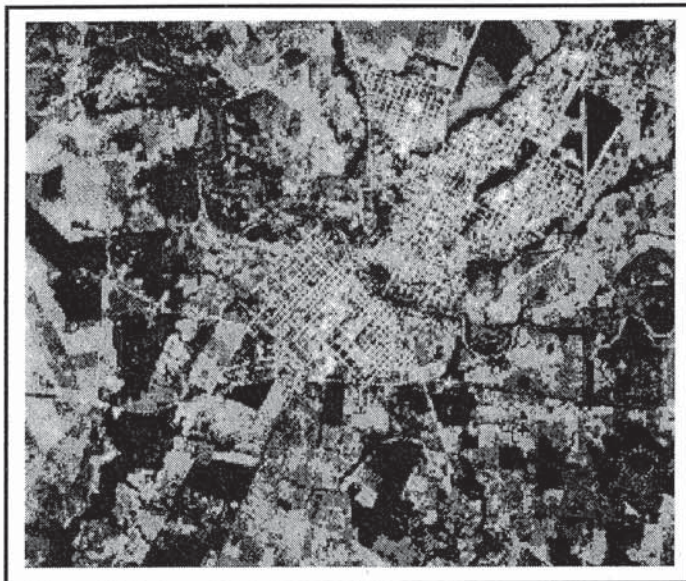


Figura 2.3 : Imagens Spot XS - Aquidauana - MS -Brasil.

O Sistema RADARSAT, com resoluções de 10 metros, opera com comprimentos de onda de 5,6 centímetros (entre as microondas e ondas de rádio), com frequência de 5.3 Ghz na Banda C, possibilitando obter imagens através de nuvens, chuva, neblina e fumaça. Esta banda é também capaz de penetrar parcialmente em algumas coberturas vegetais, águas rasas e areias não consolidadas. Ainda este ano (1997), empresas norte-americanas como a Earth Watch (Satélite Quickbird), Space Imaging e GDE, estão desenvolvendo sistemas com perspectivas de resolução no modo pancromático (preto/branco) de até 1 metro.

2.4. Geodésia

A **Geodésia** estuda as formas e dimensões da superfície terrestre. É utilizada para medição de grandes extensões e medidas de precisão. Adota o elipsóide como a referência planimétrica e matemática e o geóide como referência altimétrica. O Elipsóide SAD 69 é referência para a América do Sul. Cabe-se destacar o Sistema de Projeção UTM e o Sistema GPS.

O **Sistema UTM - Universal Transversa de Mercator**, foi a forma que os geodestas encontraram para representar num plano a superfície do elipsóide. É um Sistema adotado universalmente.

O **Sistema GPS - Global Position System**, foi concebido para utilizar os sinais (códigos) recebidos de satélites e obter as coordenadas espaciais do observador (receptor) em um determinado referencial. Basicamente, o posicionamento de um ponto pelo Método GPS é

calculado com o conhecimento da distância entre a estação e o satélite. É necessário, no mínimo, quatro satélites para determinar as quatro incógnitas do método. As quatro incógnitas são as três coordenadas espaciais do ponto e o erro de sincronização entre o relógio do satélite e o do receptor. Este posicionamento é denominado absoluto, fornecendo uma precisão da ordem de 15 à 30 metros (código C/A) ou de 3 à 10 metros (código P).

Para a determinação, com precisão, das coordenadas de pontos sobre a superfície terrestre, o método GPS utiliza dois receptores, sendo um estacionado sobre um ponto de coordenadas conhecidas. Através de uma triangulação espacial, tendo os satélites e o ponto de coordenadas conhecidas como base, determina-se as coordenadas do segundo ponto. Os erros devido à imprecisão das órbitas dos satélites, interferências das camadas atmosféricas e outros são minimizados. Este posicionamento é denominado diferencial ou relativo, e de acordo com os fabricantes, pode alcançar em condições ótimas de operação, precisões de até 1 centímetro (Figura 2.4).

As vantagens do método GPS em relação a outros métodos é que não há necessidade de intervisibilidade entre os pontos da rede, as observações podem ser realizadas independente das condições climáticas e do horário (dia e noite), possui um único sistema de referência global - Elipsóide WGS 84, além de possuir precisão geodésica. Entretanto, há a restrição de necessidade de boa comunicação entre os satélites e os receptores, ou seja, não podem haver obstáculos que impeçam esta comunicação como árvores, prédios, ruídos da atmosfera, etc.

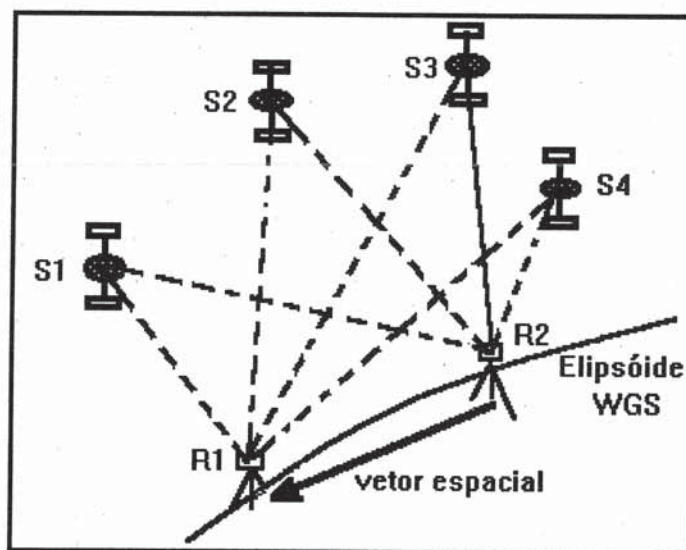


Figura. 2.4 : Posicionamento Relativo pelo Método GPS.

2.5. Levantamentos de campo

Os Levantamentos de Campo abrangem amplo espectro de técnicas, específicas de cada área de atuação. Eles irão apoiar, expandir, complementar e conferir as técnicas citadas anteriormente. Em alguns casos serão a única forma de aquisição dos dados. Poderão ser adotados métodos de amostragem.

No caso deste trabalho, considera-se necessários os Levantamentos Topográficos, Geotécnicos, Hidrológicos, de Uso e Ocupação do Solo e de População.

Os Levantamentos Topográficos podem ser realizados utilizando os instrumentos topográficos informatizados como as estações totais e os níveis digitais. Estes equipamentos possibilitam o registro automático das informações coletadas, dispensando qualquer anotação de campo. Eles ainda registram as características dos dados coletados geo-referenciados, conforme as exigências do programa aplicativo de gerenciamento das informações.

No caso de Mapeamento Geotécnico, reúnem-se o maior número de informações como mapas, dados descritivos, resultado de ensaios de laboratório, logs de sondagens, etc, na maior escala possível, mas não necessariamente a mesma para todos os mapas. O banco de dados espaciais é montado simultaneamente ao de atributos e, para isto é necessário a atribuição de identificadores para cada uma das características do mapa em questão.

Após expor as principais características das ciências e técnicas que contribuem para o Geoprocessamento, propor-se-á, no item seguinte, a sua aplicação no Planejamento, Projeto e Gerenciamento de Vias de Transporte.

A Figura 2.5, mostra esquematicamente o inter-relacionamento das tecnologias de Geoprocessamento.

3. GEOPROCESSAMENTO APLICADO NO PLANEJAMENTO DE VIAS

O planejamento da construção de uma via passa por **três estágios**:

- **Plano Diretor;**
- **Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica e Financeira e**
- **Projeto de Engenharia.**

O Plano Diretor tem por objetivo determinar, a partir dos estudos econômicos e de engenharia da rede viária de uma região, a configuração da malha e trechos viários que devem ter investimentos prioritários.

O Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica e Financeira objetiva selecionar as alternativas de traçado mais convenientes, determinar as características técnicas mais adequadas em função dos estudos de tráfego e definir a viabilidade econômica do Projeto de Engenharia da Estrada. Neste estágio, são realizados os Estudos de Reconhecimento.

O Projeto de Engenharia consiste no Anteprojeto ou Projeto Básico e Projeto Final de Engenharia ou Projeto Executivo, o qual serão tratados nos itens 4 e 5.

O Plano Diretor e o Reconhecimento podem ser realizados com dados da Digitalização, da Fotogrametria e do Sensoriamento Remoto. Utilizando-se cartas restituídas, fotografias aéreas e imagens de satélites com escalas variando de 1: 1.000.000 à 1:20.000, executam-se os estudos

preliminares. Estes dados serão superpostos, geocodificados e geo-referenciados, objetivando-se a atualização e a comparação das informações da região, formando-se o banco de dados espaciais.

Segundo Vasconcelos (1994), as principais bases de informação são as imagens de satélite (atualizadas). As imagens são adquiridas e tratadas ressaltando os alvos de interesse como matas, regiões inundáveis, malha viária e outros.

Dados descritivos como densidade populacional, uso e ocupação do solo, tendências de crescimento e outros, devem ser obtidos em órgãos oficiais como o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), prefeituras, concessionárias (de água, luz, telefone, etc), obtendo-se assim, o banco de dados de atributos.

Entrando-se com estes dados no SIG, poder-se-á gerar os mapas temáticos e executar as análises (overlay), obtendo-se:

- ligações necessárias (estudos de demanda);
- trechos que devem ter investimentos prioritários;
- alternativas de traçado destes trechos (definição de pontos obrigados de passagem);
- modo de transporte mais apropriado, etc.

Na fase seguinte, far-se-á o Projeto Básico destas alternativas.

4. GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO PROJETO BÁSICO DE VIAS

O Projeto Básico ou Anteprojeto de uma via de transporte, visa estudar com mais detalhes as alternativas de traçado definidas na fase anterior. Nesta etapa serão gerados basicamente desenhos de plantas, perfis seções transversais e relatórios com quantitativos.

Novamente, apoiar-se-á em dados da Digitalização, da Fotogrametria e do Sensoriamento Remoto. No entanto, as escalas deverão melhorar em precisão, variando de 1: 10.000 à 1: 1.000 (caso urbano).

Baseado nas informações do item 2.3, verifica-se que as imagens do satélite LANDSAT, com resolução de 30 metros, não serão suficientes. Imagens dos Satélites SPOT e RADARSAT serão as mais indicadas, pois fornecem resoluções de 10 à 20 metros. Poderão ser superpostas fotos multispectrais (XS - coloridas) e pancromáticas (PAN - preto e branco). A combinação destas fotografias com cartas planialtimétricas existentes, será necessária para obter-se uma conferência e a altimetria da região, que é a principal limitação das imagens de satélites. A grande contribuição será a atualização dos dados existentes.

No entanto, estes sistemas estão em constante evolução. O Sistema SPOT, por exemplo, permite a programação da aquisição de cenas de qualquer área, inclusive formando pares estereoscópicos. Estes pares podem ser tratados e restituídos num Restituídor Digital, obtendo-se um MDT da região estudada. Este MDT, como já foi dito, será a base para o

desenvolvimento e otimização do projeto básico. Poderão ser gerados até modelos 3D do terreno, como o exemplificado na Figura 4.

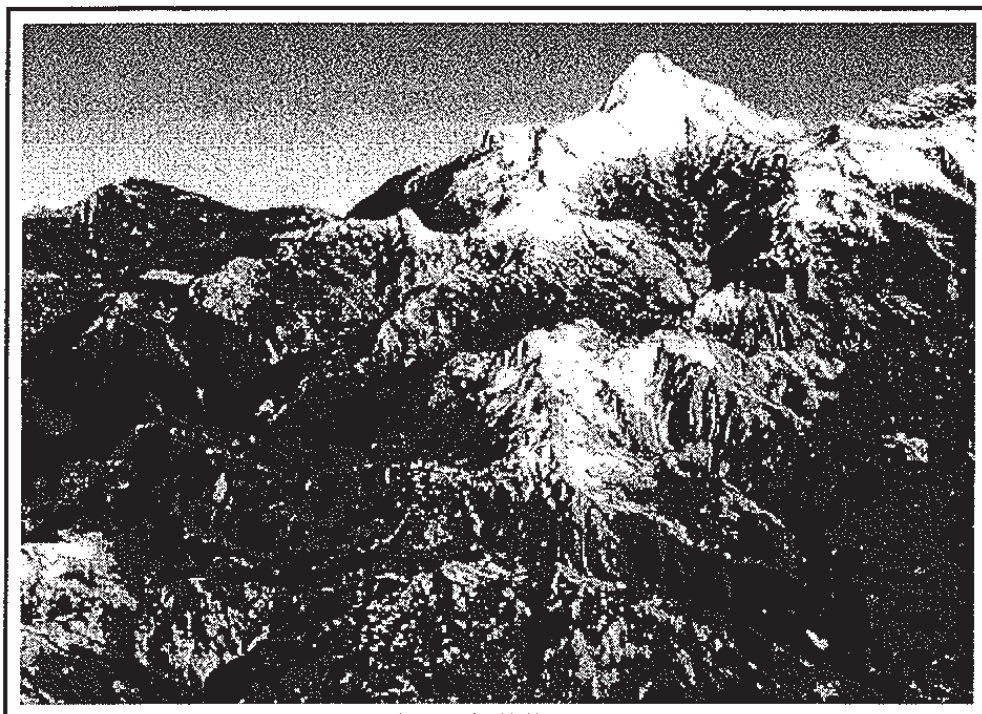


Figura 4 : Modelo 3D obtido de um MDT de fotos do Satélite SPOT

Considerando aspectos ambientais, de engenharia e econômicos devem-se obter, principalmente, os seguintes dados para geração das cartas temáticas:

topografia - será a base do SIG e através de um MDT irá gerar cartas de declividade, curvas de nível e modelo 3D;
geologia-geotecnia - mapas, dados descritivos, resultado de ensaios de laboratório, logs de sondagens, etc - mapeamento geotécnico;
hidrologia - índice de chuvas, cursos d'água, lagoas, reservatórios, áreas que contribuem para mananciais - determinação de bacias hidrográficas;
uso e ocupação do solo - definição de áreas de assentamento rural (agricultura-pastagens), industriais, comerciais, residenciais, etc.
ecologia e meio ambiente - matas naturais, cerrados, pantanais, etc.

Quanto mais dados forem utilizados, melhor serão as análises e resultados obtidos com o uso do SIG. Contudo, devem-se estabelecer objetivos para viabilizar o processo e não perder-se na complexidade de inúmeros dados.

Cruzando-se estes dados no SIG, gerar-se-á cartas temáticas que, após devidamente interpretadas, fornecerão as regiões mais interessantes para desenvolver o traçado, ou seja, os pontos obrigados de passagem.

Com estes pontos, pode-se utilizar Softwares de MDT e Softwares que Auxiliam no Projeto Geométrico de Vias, estudando-se e quantificando-se o projeto básico em planta, perfil e gerando-se as notas de serviço para locação. Maiores detalhes vide Rocha (1994).

Dependendo da quantidade e qualidade dos dados disponíveis e do tipo de projeto que está se desenvolvendo, pode-se definir todo o projeto de engenharia básica sem envolver atividades de campo. Segundo Vasconcelos (1994), o resultado é um ganho no prazo para conclusão do projeto de engenharia e melhor qualidade dos seus insumos básicos.

Contudo, se houver necessidade de levantamentos de campo, pode-se utilizar a Geodésia - Sistema GPS e os instrumentos topográficos informatizados - Estação Total e o nível digital. Maiores detalhes vide Rocha (1994). Após esta etapa, ter-se-á elementos para implantar o traçado básico no campo, obtendo-se dados para o projeto final de engenharia ou projeto executivo.

5. GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO PROJETO EXECUTIVO DE VIAS

Após definir o traçado mais "conveniente", passa-se a implantação deste no campo através das notas de serviço de locação dos pontos notáveis das tangentes e curvas (PI, PC, PT, TE, EC, CE e ET). Cartas temáticas com informações sobre estradas secundárias, caminhos de acesso e cursos d'água auxiliarão na implantação do projeto básico.

Nesta etapa, ter-se-á informações muito mais precisas e atualizadas, impossíveis de obter-se pelos processos de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto. Algumas modificações poderão ocorrer e deverão retornar ao escritório, onde serão ajustadas para obtenção do traçado definitivo. As escalas das plantas geradas do traçado definitivo serão entre 1:2.000 à 1:500 (caso urbano). As operações de campo serão realizadas, utilizando-se dos recursos de Geoprocessamento, segundo o procedimento abaixo:

No processo clássico, teria-se que lançar uma poligonal com base em medidas lineares e angulares. Esta poligonal seria a linha de apoio para o nivelamento, levantamento de seções transversais e demais serviços que possibilitariam a confecção do projeto executivo da via.

Com a aplicação do Método GPS não é preciso lançar poligonais conforme o procedimento convencional. Partindo-se dos marcos da região (IBGE), lança-se uma rede de vértices em pontos estratégicos para locação e amarração dos pontos notáveis do eixo da via. Pode-se, também, lançar os pontos notáveis utilizando-se uma estação total de alta precisão.

Com uma estação total de boa precisão, estaqueia-se este eixo (que é de preferência, o seu eixo definitivo), de 20 em 20 metros (curvas horizontais com raios menores que 300 metros, de 10 em 10 metros). Esta poligonal do eixo servirá de apoio para todos serviços de campo, objetivando-se obter dados para geração do SIG da região de estudo.

Utilizando-se um nível digital, pode-se nivelar e contranivelar este eixo, tendo-se as vantagens de eliminar os erros de leitura do operador (o nível lê automaticamente, bastando direcioná-lo) e poder gravar os dados do nivelamento num cartão de memória que será interfaceado para o computador.

Em muitos casos, talvez não haja necessidade de levantar seções transversais do terreno como convencionalmente. No caso da região possuir uma topografia relativamente plana, pode-se fazer um levantamento plani-altimétrico através de um nivelamento trigonométrico, utilizando-se a Estação Total, obtendo-se os pontos necessários para geração do MDT.

No entanto, se a região for de topografia acidentada, executa-se um levantamento planimétrico com a Estação Total apoiado por um nivelamento geométrico com o Nível Digital. Ainda neste caso, pode-se também apenas discretizar os pontos para serem, posteriormente, utilizados na geração do MDT. Aplicando-se o Método GPS e / ou a Estação Total, pode-se densificar a rede e fazer o levantamento de detalhes do terreno, transferindo-se os dados diretamente para o computador. No caso da Estação Total estes dados já vão codificados. Pode-se, também, executar levantamentos cadastrais das benfeitorias para o projeto de desapropriação.

Com este banco de dados formado, ter-se-á desenhos (como plantas, perfis e seções transversais) e notas de serviço (de nivelamento, de terraplenagem, de drenagem e de pavimentação) para a perfeita construção da via (as built) - marcando-se os off-sets e podendo-se controlar a terraplenagem com a estação total, o nível digital e o nível à laser.

6. GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO GERENCIAMENTO DE VIAS

Finalmente, com o auxílio deste SIG, poder-se-á gerenciar a via construída, atualizando-se as informações sistematicamente. No caso de vias existentes, terá que levantar-se estes dados, utilizando-se as técnicas de Geoprocessamento descritas neste trabalho. Vários aspectos podem ser gerenciados: tráfego, pedágios, índice de acidentes, monitoramento de pontos críticos, situação do pavimento, sistemas de drenagem, problemas geotécnicos, etc. Muitas Prefeituras, Departamentos de Estradas de Rodagens e Concessões estão implantando SIGs para gerenciar vias. O Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, utiliza um sistema desenvolvido pelo Banco Mundial para Projeto e Manutenção de Rodovias - HDM - Highway Design and Maintenance Standards Model, adaptado para a situação brasileira. A implantação destes sistemas é realmente uma necessidade.

7. CONCLUSÕES

A aplicação do Geoprocessamento no Planejamento, Projeto e Gerenciamento de Vias de Transporte, ainda está incipiente no Brasil. Devido à isto, na fases de planejamento e projeto, acontecem diversos erros de projeto e orçamento que comprometem a execução de diversas vias. Tem-se o exemplo da Linha Amarela no Rio de Janeiro-capital-Brasil, que parou devido à um projeto básico deficiente, com um orçamento bem abaixo das realidades. Quanto ao

gerenciamento, existem algumas concessões rodoviárias utilizando-se destas ferramentas e outras querendo implantar como a CON CER , que gerencia a BR-040 no trecho Rio de Janeiro-Juiz de Fora.

Espera-se, que as pessoas envolvidas com estes serviços, tenham informações verdadeiras das potencialidades destas tecnologias, aplicando-as com responsabilidade, obtendo-se planejamentos racionais, projetos mais econômicos e seguros e gerenciamentos eficazes. O retorno será para o próprio ser humano.

REFERÊNCIAS

Calijuri, M.L. e A. Meira (1997) - Sistemas de Informações Geográficas - CIV 637 - CCET, DEC, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 101p.

Rocha, C.H.B. (1994) Avanços Tecnológicos no Levantamento e Processamento de Dados para o Projeto Geométrico de Vias, Dissertação (Mestrado), EESC, USP, São Carlos, SP, 103 p.

Silva, I. da (1994) Perspectivas da Fotogrametria Digital - GIS Brasil 97 - Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento, Sagres Editora, Curitiba - PR, Mapeamento, pág 5-16.

Vasconcelos, E.A. (1994) Utilização de Geoprocessamento no Projeto e nos Estudos Ambientais de Gasodutos e Oleodutos - GIS Brasil 97 - Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento, Sagres Editora, Curitiba - PR, Meio Ambiente e Recursos Naturais, pág 32-40.