

Utilização do Sensoriamento Remoto em Projetos Rodoviários no Brasil: Um Histórico

Use of Remote Sensing in Highway Projects in Brazil: A historic

Alexandro G. Schäfer^a; Heitor Vieira^b; Ruth E. N. Loch^c

^{a, c} *Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, SC*
e-mail:^a alschafer@gmail.com; ^c renloch@cfh.ufsc.br

^b *Fundação Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Rio Grande, RS*
e-mail:hvieria@vetorial.net

RESUMO: Este trabalho aborda a utilização de produtos oriundos do Sensoriamento Remoto em projetos de engenharia, em especial em projetos de implantação de rodovias. Ressalta a importância desses produtos e traz um histórico de sua aplicação nos estudos e projetos rodoviários, desde os empregos iniciais de fotografias tiradas a bordo de aviões no início do século XX, até os dias atuais. Hoje, os técnicos dispõem de um grande número de sensores remotos capazes de fornecer valiosas informações aos diversos estudos necessários aos projetos de implantação de rodovias. O conhecimento das características e potencialidades desses sensores é, atualmente, fundamental para a obtenção de produtos que atendam às necessidades dos estudos e projetos a serem realizados.

ABSTRACT: This paper approaches the Remote Sensing products use in engineering projects, especially in highway project implantations. It points out the importance of those products and brings a report of your application in the road studies and projects, from the initial employments of pictures, taking from airplane board in the beginning of the century XX, until the current days. Nowadays, the technicians have a great number of remote sensors capable to supply valuable information to the several necessary studies to the projects of highways implantation. The knowledge of the remote sensors characteristics and potentialities become fundamental for obtaining products that attend to the needs of studies and projects to be accomplished.

1. INTRODUÇÃO

A seleção de uma diretriz para uma rodovia, linha de transmissão, linha de dutos ou para um canal de drenagem, requer vários estágios de análises e a avaliação de um grande número de fatores. Embora somente uma longa e estreita faixa necessite ser locada, áreas extensas devem ser investigadas a fim de selecionar possíveis corredores a serem avaliados com o intuito de obter a diretriz mais adequada, considerando não só o processo de implantação, mas também os aspectos operacionais e geopolíticos.

A escolha da diretriz para uma rodovia leva em consideração muitos fatores e requer, freqüentemente, um balanço de características conflitantes com o objetivo de obter uma diretriz adequada. O resultado ótimo é obtido ponderando a disponibilidade de recursos com as necessidades

de provocar o mínimo distúrbio as características culturais e naturais do terreno, reduzir os futuros custos de manutenção e operacionais.

Dentro deste contexto, percebe-se a importância do conhecimento mais abrangente da área prevista para a implantação de uma rodovia para buscar informações que possibilitem alterar o mínimo possível o ambiente e para garantir que este meio não venha a causar riscos a rodovia na fase de operação. A utilização de produtos oriundos do Sensoriamento Remoto propicia o conhecimento do local e traz subsídios para a realização dos projetos de engenharia, facilitando o conhecimento do ambiente onde a rodovia será implantada, atendendo de maneira eficaz aos requisitos ambientais.

De acordo com MINTZER [1], a engenharia rodoviária é um dos campos mais extensivos de aplicação dos produtos do sensoriamento remoto

nas últimas décadas. Por mais de 80 anos, as fotografias aéreas e, mais recentemente, outros sensores remotos, têm sido utilizados para avaliar muitos fatores importantes que influenciam na locação de rodovias. Nas duas últimas décadas, o surgimento de novos sistemas de sensoriamento remoto, a possibilidade de visualização sinótica provida por esses sensores postos a bordo de satélites, assim como a modelagem do terreno, vem sendo agregada às ferramentas indispensáveis para estudos de engenharia.

Neste artigo, é ressaltada a importância do sensoriamento remoto na engenharia e é apresentando um histórico da sua utilização em projetos rodoviários no Brasil e em países desenvolvidos. Parte-se das primeiras utilizações de fotografias no levantamento de locais para implantação de estradas até os dias atuais, quando o Sensoriamento Remoto se estabelece como importante ferramenta na engenharia rodoviária. Enfatiza-se algumas potencialidades de novos sistemas de sensoriamento remoto, orbitais e suborbitais, em especial o sistema Laserscanner (LIDAR), que começou a ser utilizado no Brasil no ano de 2001 e que vem mostrando uma importância crescente na busca de soluções nos projetos de implantação de rodovias.

2. UTILIZAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO EM ENGENHARIA RODOVIÁRIA

2.1. Da década de 1920 até 1950

A primeira manifestação de interesse do Governo Federal com relação às modernas rodovias se deu através da lei nº. 1453, de dezembro de 1905, que autorizava uma subvenção financeira da União aos Estados, para que estes promovessem “a construção de estradas de rodagem que liguem entre si as capitais de quaisquer estados” (TELLES [2]).

Os estudos para a construção de novas rodovias consistiam em uma verdadeira aventura, com o engenheiro responsável pelo projeto tendo de percorrer a pé ou a cavalo a área onde a rodovia seria locada, o que poderia levar, dependendo da extensão da rodovia, mais de um ano. Um relato de como eram realizados os trabalhos de campo no estudo de reconhecimento de locais para rodovias é encontrado em MONTEIRO FILHO [3]. Muitas estradas eram construídas sem qualquer estudo prévio ou projeto.

A partir das décadas de 1920 e 1930, começam a surgir processos “modernos” aplicáveis aos estudos de reconhecimentos e também, em alguns casos, de exploração de caminhos para as rodovias: a fotografia e a aviação. Estes auxiliavam principalmente no estudo físico da área.

Uma técnica já utilizada para o estudo de reconhecimento na década de 1920 era a fotogrametria terrestre, onde as fotografias eram tiradas de locais com vista panorâmica da área a ser atravessada pela estrada. Também eram utilizadas fotografias tiradas pelo engenheiro a bordo de um avião. Essas novas técnicas poderiam ser utilizadas principalmente no estudo físico da área. A operação sobre o terreno seria, no entanto, necessária para a obtenção de indicações complementares, e das demais informações concernentes à geologia, à população, perspectivas gerais, etc. As fotografias que serviriam de base ao anteprojeto eram tiradas de grandes alturas, de três a cinco mil metros (escalas de 1:30.000 até 1:50.000). O resultado fornecido por uma só hora de vôo poderia ser muito mais amplo e prover mais informações do que mais de um ano de serviço, realizado através dos levantamentos terrestres habituais (MONTEIRO FILHO [3]).

Um dos primeiros projetos de rodovias no Brasil a utilizar fotografias aéreas foi realizado pela Inspetoria de Obras Contra as Secas na década de 1920. Na época, foi feito um vôo de reconhecimento, para a escolha dos pontos de passagem, que foi seguido de outro para medir as distâncias e rumos necessários para as operações subsequentes sobre o solo (TELLES [2]).

Outros locais, onde foram utilizados levantamentos fotogramétricos para estudos de traçado (nas décadas de 1920 e 1930), foram: a estrada de ferro Brasil-Bolívia (vôo 1:20.000 e composição de mosaico); a nova ligação entre São Paulo e Curitiba (planta feita na escala 1:10.000, curvas de nível espaçadas de 10 m. e área de 300 km²); e o projeto da rodovia Vitória a Belo Horizonte (que já se havia estudado por outros métodos e que obteve, com o estudo fotogramétrico, encurtamento de alguns quilômetros e melhoria nas condições técnicas da rodovia).

2.2. Da década de 1950 até 1970

A partir de 1950, vários estudos para projetos de novas rodovias com a utilização de levantamentos aerofotogramétricos estavam sendo contratados pelo DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem) principalmente nos estados do Paraná, de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul. A técnica já era bem aceita entre os profissionais de engenharia.

Registram-se nesta mesma época nos Estados Unidos avançadas aplicações para numerosas finalidades. A crescente aplicação das fotografias aérea em estradas estava sendo cada vez mais aperfeiçoada, abrangendo todas as fases do preparo do empreendimento rodoviário, desde a visualização inicial da área até às últimas determinações, para a marcação da via sobre o solo. Interpretações, antevisão de obras e detalhes eram deduzidos dos vôos e das aerofotos.

MONTEIRO FILHO [4] cita que: “a aviação abriu grandes possibilidades nos estudos de projetos e traçados de rodovias, seja por simples vôos de observação sobre as áreas questão, dando a percepção da orografia e das situações, seja pelo exame acurado de fotografias tomadas do alto, para a apreciação estereoscópica, julgamento usando aparelhos modernos, ou para o desenho de plantas, com curvas de nível, etc.”. A análise no escritório, das zonas retratadas permite pesar e confrontar soluções e alternativas, para a seleção da trajetória preferível. Vôos de observação, realizados a uma altura de 300 a 1000 metros em relação ao solo, tornavam-se indispensáveis para o início dos estudos de projetos rodoviários. Também havia a possibilidade do estudo planimétrico e do relevo de um determinado local utilizando-se aerofotos.

O emprego em projetos rodoviários de fotografias tiradas de avião, na década de 1950, tinha como objetivo:

- simples organização de fotografias sucessivas e seu exame em conjunto;
- apreciação estereoscópica das vistas para se perceber o relevo e a série de características influentes nas deliberações;
- trabalhos mais apurados, de aproximações consecutivas, na escolha das faixas e das linhas preferíveis;
- segundo moderna prática norte-americana, uma seqüência de estudos, partindo de

extensas áreas, entre os pontos a ligar, até chegar ao desenho de cartas e plantas, de maior escala, com curvas de nível, etc;

- especificação pormenorizada, decorrente do projeto definitivo, para se assinalar, no terreno, o eixo da estrada, a localização das obras, os acessórios, etc.

Os mosaicos e os fotoplanos (mosaicos controlados) constituíam meios de estudos para o reconhecimento de estradas, embora não apresentassem confiabilidade quanto à exatidão. As fotografias utilizadas nesta época eram predominantemente preto-e-branco (figura 1) e muito freqüentemente com escalas entre 1:20.000 e 1:50.000. A fotografia aérea é citada por MONTEIRO FILHO [5] como “uma solução mais racional, eficiente e econômica, em levantamentos de grandes regiões, onde aparecem trechos difíceis”.



Figura 1: fotografia preto-e-branco fonte www.esteio.com.br

Nessa época (décadas de 1950-60) já eram utilizadas as informações obtidas das fotografias aéreas com relação às constituições geológicas, a resistência dos solos, a erosão, vegetações, facilidade de drenagem, etc. Era organizado no escritório mosaico para apreciações das zonas aonde viria a ser implantada a rodovia, procedendo-se ao estudo dos itinerários, com o estereoscópio. Anotava-se, sobre as fotografias e esboços da região, uma série de pontos prováveis de passagem para a futura diretriz levando em conta alturas, rampas permissíveis, influências mais importantes, etc.

O profissional partia para o campo munido de um mosaico do trecho, as fotografias em seqüência

e um estereoscópio. Eram exigidos do responsável pelo projeto conhecimentos e habilidade para as interpretações quanto à formação e consistência dos solos, o comportamento quanto à ação das águas, a estabilidade para as construções, etc.

Segundo MONTEIRO FILHO [5], as vantagens gerais da utilização da fotogrametria para projetos rodoviários eram:

- a. maior rapidez nas operações;
- b. maior abundância de informações;
- c. melhores condições para a realização do estudo, no conforto do escritório;
- d. possibilidade de observações estereoscópicas;
- e. coleta de preciosas informações suplementares, sobre os solos, condições de drenagem, bases para obras, recursos de construção, etc.
- f. exame de locais à revelia dos moradores ou proprietários;
- g. obtenção de um arquivo valioso, sobre ampla faixa dos arredores do local onde a rodovia seria implantada;
- h. possibilidade de se reconsiderar ou refazer o estudo, a qualquer momento e sob quaisquer novas prescrições ou finalidades;
- i. acesso às diversas áreas, até as mais inacessíveis.

2.3. Da década de 1970 até 1980

As fotografias aéreas estavam sendo cada vez mais utilizadas em engenharia rodoviária e, ao menos nos Estados Unidos e Canadá, já não eram mais utilizadas apenas para estudos preliminares e locação de rodovias. MINTZER [1] descreve os principais usos em engenharia rodoviária que se dava aos produtos de sensoriamento remoto na década de 1970:

- a. Planejamento de rodovias, incluindo pesquisa de condições e inventário, e levantamento de tráfego;
- b. Levantamento de locais para rodovias, incluindo avaliação de corredor e análises ambientais;
- c. Levantamentos para construção;
- d. Levantamentos para manutenção;
- e. Aplicações especiais como em litígios e reivindicações.

Grande quantidade de dados necessários para levantamento das condições e inventário de rodovias começava a ser obtido por técnicas de sensoriamento remoto aéreo, enquanto outros dados mais detalhados eram mais bem determinados por métodos de campo. Estes eram realizados a fim de compilar estatísticas sobre:

- a. Comprimento de vários tipos de rodovias;
- b. Tipo e número de estruturas; c) tipos de superfície da estrada;
- c. Informação do uso do solo em torno da rodovia;
- d. E outros dados.

Na aquisição de dados e análise das condições pertinentes ao planejamento de rodovias e na subsequente pesquisa de local para implantação da rodovia, eram utilizadas fotografias aéreas de média e grande escala. Estas estavam também se mostrando muito úteis para identificação dos diversos dados de uma rodovia a serem inventariados, como tipo e condições de estradas existentes, uso do solo das propriedades nos arredores da estrada, condições de drenagem e tipos e número de estruturas. As técnicas de sensoriamento remoto poderiam cobrir grandes áreas, identificando pequenas características.

A disponibilidade de imagens de satélite (como aquelas do Landsat MSS) e fotografias de grande altitude provia uma excelente base para fazer a avaliação regional de possíveis corredores. Tais imagens podiam também ser usadas para desenvolver mapas base para apresentação de possíveis alternativas.

Algumas técnicas computacionais começavam a ter maior utilização em levantamentos para quantificar e avaliar a influência relativa de fatores na seleção de rotas, e para gerar vistas perspectivas da rodovia proposta, a fim de avaliar as qualidades estéticas e de segurança do alinhamento da estrada do ponto de vista do usuário. Tais técnicas computacionais também estavam sendo usadas para determinar quantidades de movimento de terra por métodos fotogramétricos no projeto de estrada, comparando custos de alinhamentos alternativos e para determinação final de quantidade de pagamentos durante a construção da estrada.

De acordo com MINTZER [1], as análises de dados coletados indicavam que as técnicas de sensoriamento remoto eram altamente confiáveis,

econômicas, e conseqüentemente essenciais, na avaliação de muitos parâmetros ambientais pertinentes à construção e uso de rodovias. Ele cita três casos de análise ambiental de corredores onde foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto feitas nos anos de 1972, 1974 e 1979 nos Estados Unidos e no Canadá. As fotografias aéreas convencionais eram as maiores fontes de dados para estes estudos, propiciando uma rápida e econômica análise do ambiente. As fotografias coloridas na escala 1: 5.000 (figura 2) apresentavam a vantagem de mostrar vasta quantidade de detalhes, fotografias coloridas na escala 1: 10.000 e preto-e-branco 1:25.000 estavam sendo utilizadas para detectar e analisar parâmetros como forma das propriedades. As fotografias infravermelhas coloridas (figura 3) captavam o stress vegetativo que seria estudado em detalhe.

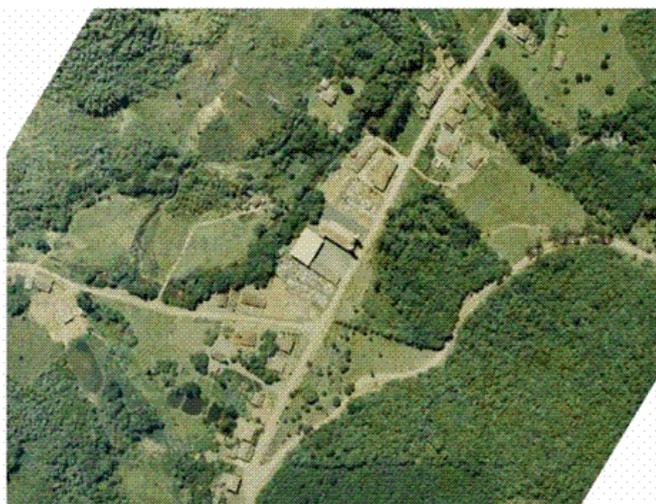


Figura 2: mosaico de ortofotos Fonte: DEINFRA/SC



Figura 3: fotografia infra-vermelho falsa-cor fonte www.esteio.com.br

As imagens de sensoriamento remoto, segundo o mesmo autor, começavam a auxiliar organizações rodoviárias na sua interação com o público quando da realização de audiências públicas. Alguns métodos especiais usando técnicas de sensoriamento remoto estavam sendo utilizados para descrever áreas sensíveis, para avaliação do impacto de ruído e características de erosão do solo, e para detalhamento de características de terreno (solos, geologia, topografia, drenagem) e características culturais (arqueologia, utilidades, uso do solo).

A ortofotocarta (que começou a ser utilizada no Brasil na década de 1970) era aplicada em projeto de traçados (figura 4), interseções, duplicações e manutenção de rodovias. Além disso, são aplicadas em campos ligados ao projeto rodoviário, como projetos de desapropriação, reassentamento, projetos de monitoramento ambiental e para o cadastro de áreas rurais e urbanas.

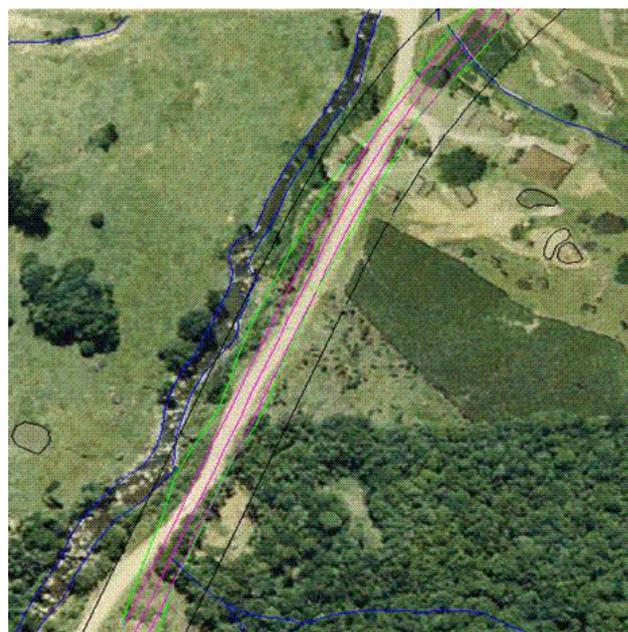


Figura 4: Anteprojeto de rodovia sobre mosaico de ortofotos. Fonte: DEINFRA/SC

2.4. Da década de 1980 até atualmente

A partir dos anos 1980 houve um aumento na utilização de filmes coloridos para investigações detalhadas em estudos de implantação de rodovias. As fotografias coloridas apresentavam como vantagem, em relação às fotografias em preto-e-branco, a possibilidade de obter informações adicionais através da interpretação das fotografias,

já que o olho humano é capaz de reconhecer pelo menos cem vezes mais cores do que valores na escala de cinza.

Algumas das vantagens da utilização de fotografias aéreas para estudos de implantação de rodovias citadas por O'FLAHERTY [6] são:

- a. A possibilidade de examinar grandes áreas de terra assegura que será menor a probabilidade de serem negligenciados os melhores locais para a rodovia;
- b. Um inventário completo de todas as características da superfície terrestre em um determinado local e em um determinado momento pode ser disponibilizado;
- c. Perfis e cortes da seção da estrada podem ser desenvolvidos sem invadir propriedades privadas. Assim, proprietários não sofrem transtorno e a avaliação da terra não é afetada durante a investigação de locação da estrada.

Em meados de 1990, inicia a era digital da fotogrametria (FRYER [7]). As fotografias aéreas digitais (feitas através de escanização de fotografias obtidas por métodos convencionais ou por câmeras fotogramétricas digitais) apresentam a vantagem de poderem ser visualizadas e processadas em computadores comuns; existe a possibilidade de melhorar a imagem digital devido ao acesso ao seu conteúdo radiométrico e podem ser aplicados processos de automação. Desvantagens das fotografias digitais incluem exigência de sistemas computacionais de alta qualidade e capacidade de processamento e armazenamento de dados e qualidade de imagem inferior à de um sistema convencional (DOWMAN [8]).

Com o surgimento da fotogrametria digital, a necessidade sobre as informações não mudou, o que mudou e continua mudando é o emprego dos métodos de processamento de imagem.

Segundo O'FLAHERTY [6], a utilização de fotografias aéreas em projetos de implantação de rodovias tornou-se uma prática bem aceita em engenharia rodoviária atualmente, sendo as fotografias aéreas de grande escala muito importantes tanto nas etapas preliminares quanto na fase final de um levantamento para implantação de rodovia.

Como alternativa ou complemento à utilização de fotografias aéreas convencionais, surgiram nas últimas décadas sensores remotos que podem prover uma grande quantidade de informações úteis quando do estudo de implantação de uma rodovia.

2.5. Outros sistemas imageadores

As imagens de satélites tiveram grande aumento na resolução espacial nas últimas décadas, o que possibilitou a sua utilização em projetos de implantação de rodovias. Em 1982, começou a operar o satélite Landsat 4, com resolução geométrica de 80 metros, no modo multispectral, evoluindo no Landsat 5 para 30 metros e, em 1986, o satélite Spot, com resolução geométrica de 20 metros, no modo multispectral, e 10 metros no modo pancromático (figura 5). Existem ainda os satélites IKONOS e QuickBird, que possuem resolução geométrica menor que 1 metro no modo pancromático.

Caetano [9], utilizou imagens ETM+/Landsat-7e HRVIR/Spot-4 para mapeamento de fraturamento (trações de juntas e lineamentos estruturais) e do uso e ocupação da terra visando subsidiar a fase de planejamento de construção de uma rodovia. Com o advento de satélites que geram imagens com resolução espacial na casa dos decímetros, vemos necessidade de realização de estudos visando a utilização dessas imagens nos projetos rodoviários

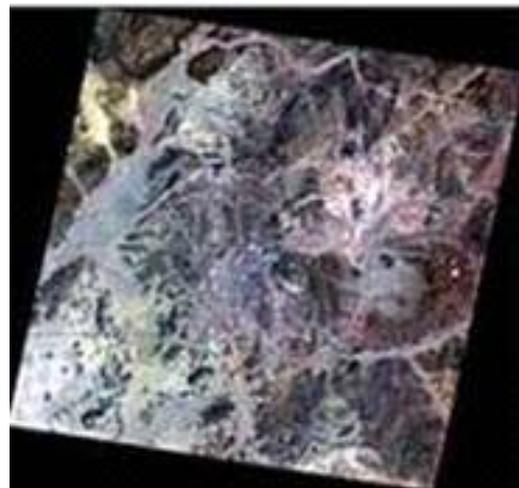


Figura 5: cena do satélite Spot 4

Como resultado de uma parceria entre Brasil e China, entrou em operação o CBERS (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres), O CBERS

possui três sensores, com resoluções espaciais e frequências de observação variadas. Os três sensores imageadores a bordo são o imageador de visada larga (WFI), a câmara CCD de alta resolução e o varredor multiespectral infravermelho (IR-MSS). A resolução geométrica do satélite CBERS é 20 m (CCD). Na figura 6 têm-se a mancha urbana do município de Rio Grande-RS, obtida através de uma composição colorida de parte de uma cena do satélite CBERS. Na figura 7 pode-se identificar o balneário Cassino e os molhes da barra.



Figura 6: Mancha urbana do município de Rio Grande-RS.



Figura 7: Balneário Cassino e molhes da barra.

Os sistemas aerotransportáveis de imageamento multispectral - que têm a capacidade de obter dados em uma faixa mais ampla do espectro eletromagnético do que a fotografia convencional - podem ser utilizados principalmente para distinguir terrenos instáveis e áreas onde pode ocorrer movimentos de terra. Os sistemas de imageamento por infravermelho, que provêm imagens que mostram o padrão de temperatura da

superfície terrestre, detectam características geológicas e condições do subsolo por meio de diferenças sutis na temperatura da superfície terrestre, o que influencia na localização e no projeto de implantação de uma rodovia. Pode-se definir através dos dados obtidos com este tipo de sensor a localização de declives saturados com água, solos orgânicos, falha em estruturas, cavidades sobre o chão, atividades vulcânicas e hidrotermais, elementos de infra-estrutura e canais enterrados, sistemas de drenagem subsuperficial.

Os sensores radar como o ERS, o JERS e o RADARSAT (figura 8) tiram proveito da energia transmitida na frequência de microondas (não detectável pelo olho humano). Operando numa frequência de microondas singular, gera um canal de dados e, conseqüentemente, uma imagem em níveis de cinza. Esta imagem pode ser combinada com outros dados de radar multi-temporais (para detecção de alterações) ou dados de outras fontes para criar imagens coloridas.

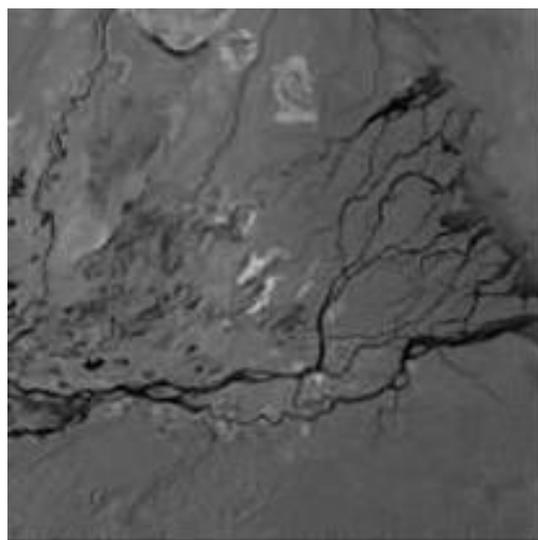


Figura 8: Imagem do satélite Radarsat

O Sistema de Radar Aerotransportável (SLAR) tem sido utilizado com sucesso para mapear características do terreno, para diferenciar alguns tipos de rocha e materiais da superfície, e para delinear velhos canais e áreas que apresenta alto teor de umidade. Em áreas com florestas, a irradiação emitida pelo SLAR penetra parcialmente a cobertura de árvores e detecta detalhes topográficos.

2.5.1 Sistema Laserscanner Aerotransportado

O sistema Laserscanner aerotransportado é um sistema de Sensoriamento Remoto ativo, que utiliza uma técnica de varredura ótico-mecânico com pulsos laser para a coleta de informações. O pulso laser considera o intervalo de tempo entre a emissão e recepção para determinar a distância entre o sensor e o objeto. O sistema Laserscanner gera coordenadas tridimensionais de pontos sobre uma superfície num curto período de tempo. Seu princípio de operação é bastante simples. Os pulsos de laser são gerados e emitidos pelo sistema com o auxílio de um espelho de varredura atingindo os objetos. Estes objetos refletem o pulso emitido e parte de sua energia volta para o sistema. Com isto, a medida da distância entre o sensor e o objeto iluminado é determinado através do intervalo de tempo entre a emissão e a reflexão (retorno) do pulso.

O posicionamento 3D destes pontos pode ser determinado caso a posição e a orientação do pulso enviado seja conhecida em relação ao sistema de referência WGS 84. Para haver uma acurácia na determinação dos pontos é necessário haver uma boa sincronização entre os componentes envolvidos pelo sistema (Dalmolin & Santos [10]). A varredura é feita no sentido transversal à direção da linha de vôo, com a divergência configurável pelo sistema permitindo a determinação da largura da faixa abrangida pelo perfilamento laser. A figura 9 ilustra o esquema de funcionamento da Laserscanner.

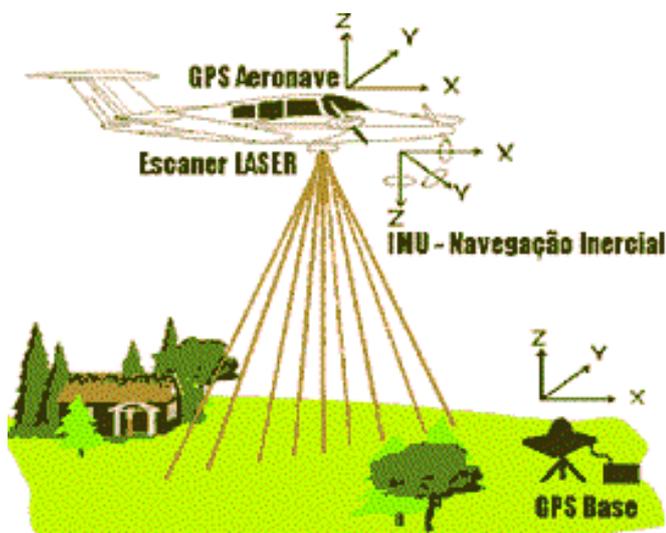


Figura 9 – funcionamento do sensor Laserscanner

Com a realização do vôo, o sistema fornece dados brutos com informações tridimensionais do terreno sobrevoado. Esses dados são de posição (GPS), orientação da aeronave e de cada pulso emitido (SMI) e intervalos de tempo (medida laser). Os dados são posteriormente integrados, gerando um grande conjunto de pontos que devem ser processados para modelar a superfície do terreno tridimensionalmente.

A tecnologia LIDAR é capaz de se gerar rapidamente denso e acurado (de 15cm a 20 cm de acurácia) modelo digital da topografia e estrutura vertical de uma superfície. Para muitas aplicações que necessitam de alta acurácia nos modelos de elevação, a tecnologia LIDAR oferece capacidades técnicas únicas, reduz custos de operações de campo, e reduz o tempo e esforço de pós-processamento se comparado aos métodos de levantamento tradicionais (Flood [11]).

O LIDAR adapta-se bem para mapeamento de faixas lineares da superfície tais como faixa de domínio de rodovias. A aeronave pode voar ao longo do eixo da rodovia, resultando no mapeamento somente de áreas de interesse e provendo um mapa digital do terreno com alta resolução espacial, capturando informações sobre pavimento, sistema de drenagem e vegetação e edificações. O sensor pode ser ajustado para obter vários pontos por metro quadrado, com um pulso de 10 a 15 cm de diâmetro, provendo informações suficientes para criar um MDT adequado para muitas aplicações de engenharia, incluindo o alinhamento de auto-estradas (Gutelius [12]). As figuras 10 e 11 apresentam Modelos Digitais de Elevação (MDEs) gerados a partir de nuvem de pontos oriunda de um vôo do sensor Laserscanner

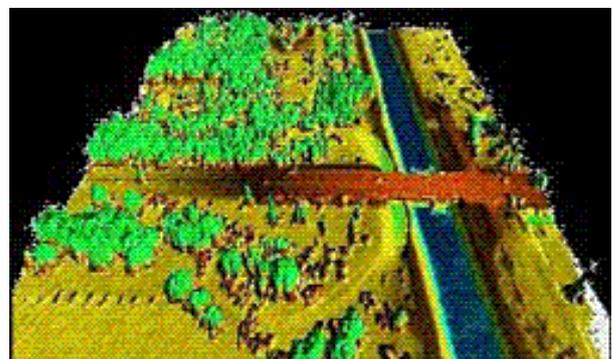


Figura 10: MDE gerado a partir de nuvem de pontos Laserscanner

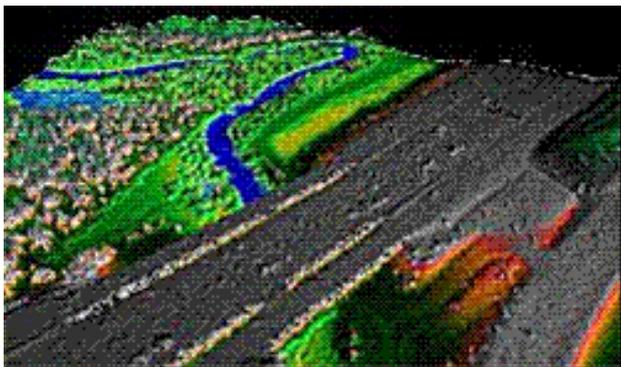


Figura 11: MDE gerado a partir de nuvem de pontos Laserscanner

Vários estudos vem sendo realizados em nível nacional e internacional visando a utilização dos produtos provenientes do sensor Laserscanner em projetos rodoviários. De acordo com Schäfer & Loch [13], Modelos Digitais do Terreno e de Elevação de alta resolução gerados a partir dos pontos laser tem grande potencialidade de aplicação em projetos de implantação de rodovias. A simulação de rodovias em MDTs e MDEs a partir da nuvem de pontos Laserscanner confere novas possibilidades aos projetos de implantação de rodovias. Permite um estudo mais aprofundado do projeto, no qual podem ser considerados (além dos elementos de praxe), a densidade da vegetação, relevo com 15 cm a 30 cm (acurácia vertical) e MDT e MDE totalmente digital, sem que seja preciso utilizar os métodos fotogramétricos ou topográficos.

Berg & Ferguson [14] investigaram a potencialidade de utilização do LIDAR para levantamentos de rodovias e estudo de corredores para o Ministério de Transporte de Ontário em alternativa ao método tradicional de mapeamento fotogramétrico convencional. Schäfer [15] utilizou produtos do sensor Laserscanner para o mapeamento temático de áreas de implantação de rodovias (figuras 12 e 13).

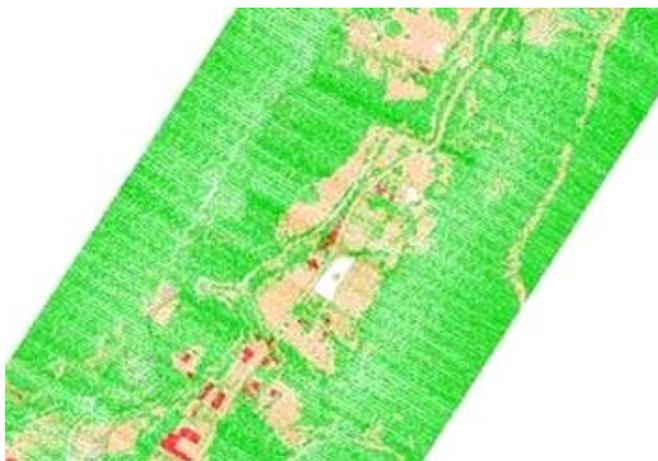


Figura 12 – Nuvem de pontos Laserscanner após filtragem, classificação e edição manual

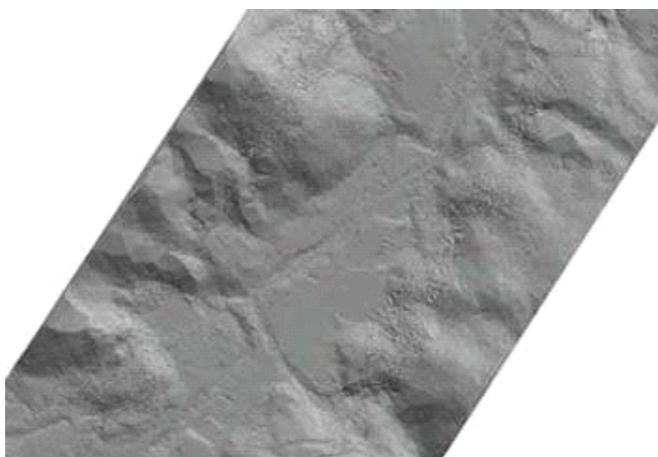


Figura 13 – Modelo digital do terreno gerado a partir dos pontos Laserscanner

3. CONCLUSÕES

É inevitável o uso de produtos do Sensoriamento Remoto para projetos de engenharia, não só os rodoviários, como no caso específico apresentado nesse artigo, mas muitos outros como hidroelétricas, controle de deformações em estruturas, implantação de dutos, etc.

Conforme se pode verificar no histórico apresentado, produtos do Sensoriamento Remoto vem sendo aplicados à projetos rodoviários, no Brasil, desde o início do século XX. Além disso, a evolução dos sensores apresenta hoje diferentes possibilidades para esse campo.

Embora seja de reconhecida importância em projetos de engenharia e em particular em projetos rodoviários, a utilização de produtos do sensoriamento remoto ainda hoje está longe de ser

uma prática comum nas empresas de engenharia e entre os profissionais liberais. Por vezes, quando utilizado, pouco do seu potencial é explorado. Acredita-se que isto se deve a falta de cultura cartográfica e ao desconhecimento dos produtos do sensoriamento remoto por parte dos engenheiros civis.

Entende-se que o estudo e o conhecimento do Sensoriamento Remoto, de seus produtos e de suas potencialidades de aplicação são essenciais para a realização de projetos de engenharia. O conhecimento destes produtos por parte dos engenheiros projetistas vem a ser de suma importância para que as obras projetadas estejam perfeitamente inseridas no ambiente onde serão construídas e que este não venha a causar riscos ao empreendimento.

REFERÊNCIAS

- Mintzer, O. Engineering applications. In: Robert Colwel. *Manual of Remote Sensing*. 2. EUA: 1983, v. 2, p. 1955-2101.
- TELLES, P. C. da S. *História da engenharia no Brasil*. Rio de Janeiro: Clavero Editoração, 1993.
- Monteiro Filho, J. *Curso de estradas – 1º e 2º partes*. Rio de Janeiro: Escola Politécnica da Universidade do Rio de Janeiro, 1933.
- _____. *Projeto de estradas – ferrovias e rodovias*. 4. ed. Rio de Janeiro: Ed. Científica. 1953.
- _____. *Projeto de estradas – ferrovias e rodovias*. 5. ed. Rio de Janeiro: Ed. Científica. 1961.
- O’Flaherty, C. A. *Highway Planning*. Londres: Ed. *Planta Tree*, 2002.
- FRYER, J. G. Introduction. IN: K. B. Atkinson (Edit.). *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Scotland: Whittles Publishing. P. 1-7. 1996.
- Dowman, I. J. *Fundamentals of digital photogrammetry*. IN: K. B. Atkinson (Edit.). *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Scotland: Whittles Publishing. P. 52-77. 1996.
- Caetano, N. R. *Utilização de Sensoriamento Remoto e de sistemas de informação geográfica na fase de planejamento do projeto de rodovias. Estudo de caso: via Carvalho Pinto*. São José dos Campos, 2002. Dissertação (mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto de Pesquisas Espaciais. INPE.
- Dalmolin, Q.; Santos, D. R. *Sistema Laserscanner: conceitos e princípios de funcionamento* (3ª edição). Curitiba, UFPR, 2004.
- Flood, M. Laser altimetry: from science to commercial LIDAR mapping. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. EUA, v. 67, n. 11, p 1209-1218, nov. 2001.
- Gutelius, Bill. Engineering applications of airborne scanning lasers: reports from the field. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. EUA, v.64, n. 04, p. 246-253, apr. 1998.
- Schäfer, A.; Loch, R. *Aplicação dos Dados do Sensor Laserscanner para Modelagem do Terreno Visando Projetos Rodoviários*. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2005, Goiânia.
- Berg, R.; Fergunson, J. Mapping Ontario’s highways with LIDAR. *Gim International*, Canadá, v. 15, n. 11, p. 44 a 47, nov. 2001.
- Schäfer, A. *Aplicação de Produtos Fotogramétricos e do Sensor Laserscanner em Projetos Rodoviários – Estudo de Caso: Trecho da SC-414*. Florianópolis, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.