

Aplicação do Sensoriamento Remoto em projetos rodoviários: um histórico, uma realidade e uma necessidade como disciplina em cursos de engenharia

Alexandro Gularte Schafer¹
Ruth Emília Nogueira Loch¹

¹ Universidade Federal de Santa Catarina – Depto de Eng. Civil
CEP 88040-900 - Florianópolis - SC, Brasil
a.schafer@ig.com.br; renloch@cfh.ufsc.br

Abstract. This paper approaches the importance of Remote Sensing as discipline in Civil Engineering courses in Brazil, emphasizing historical aspect of your use in highway engineering projects. For so much were considered the first uses of photography for highways implantation to the establishment of photogrammetry as important tool in the highway projects. It is still discussed the use of remote sensor arise in the last decades and that constituted in new alternatives or complements to use of vertical aerial photographysin highway projects. As display the review, knowledge of remote sensing and of your potentialities became fundamental for the engineers, however, those professionals they are not prepared to work with such technology. This way, is considered that a solution would be the insert of Remote Sensing as discipline in Civil Engineering courses, preparing the futures professionals to assist the needs of the job market.

Palavras-chave: remote sensing, civil engineering, education, sensoriamento remoto, engenharia civil, educação.

1. Introdução

Por mais de 80 anos, a utilização de fotografias aéreas tem sido uma ferramenta indispensável para o desenvolvimento de uma variedade de projetos de engenharia. Nas duas últimas décadas o surgimento de novos sistemas de sensoriamento remoto e a possibilidade de visualização sinótica provida por esses sensores a bordo de satélites assim como a modelagem do terreno vem sendo agregadas às ferramentas indispensáveis para estudos de engenharia. O campo de aplicação mais extensivo de produtos de sensoriamento remoto ocorre dentro da engenharia rodoviária, onde eles são de grande utilidade para avaliação dos diversos fatores que exercem influência: (1) no planejamento rodoviário, incluindo inventários, levantamento de condições de pavimento, e em estudos de tráfego; (2) no levantamento para locação de rodovias, incluindo avaliação de corredores e análise ambiental; (3) em levantamentos para construções, (4) em levantamentos para manutenções, (5) em aplicações especiais, tais como litígios e reivindicações, e em pesquisas.

Apesar da reconhecida importância do sensoriamento remoto em projetos de engenharia e em particular em projetos rodoviários, a sua utilização no Brasil ainda hoje está longe de ser uma prática comum nas empresas de engenharia e entre os profissionais liberais. Além disso, quando utilizado, por vezes, 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. Por esse motivo e tendo em vista a relevância que o Sensoriamento Remoto alcançou como ferramenta para a Engenharia Civil nas últimas décadas é que se propõe a inserção do tema Sensoriamento Remoto como disciplina nos cursos de Engenharia Civil no país. Para reforçar essa proposta, esse artigo ressalta a importância do sensoriamento remoto na engenharia 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 se estabelecendo como importante ferramenta para 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 estradas, próprias ao tráfego de automóveis, foi a 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 para ligar entre si as capitais de quaisquer estados” (Telles, 1993).

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 (1933). 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 utilizada para o estudo de reconhecimento nesta época (década de 1920) era a fotogrametria terrestre, onde as fotografias eram tiradas de locais altos que possibilitassem vista panorâmica da área a ser atravessada pela estrada. Também eram utilizadas fotografias oblíquas tiradas pelo próprio 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 aéreas verticais que serviriam de base ao anteprojeto eram tiradas de grandes alturas, de três a cinco mil metros (escalas de 1:30.000 a 1:50.000). Os resultados fornecidos por uma só hora de vôo tornavam-se muito mais amplos e proviam mais informações do que aqueles obtidos por mais de um ano de serviço, feitos pelos levantamentos terrestres habituais (Monteiro Filho, 1933).

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, onde foi feito um vôo de reconhecimento, para a escolha dos pontos de passagem da estrada, seguido de outro vôo onde foram medidos distâncias e rumos para o prosseguimento das operações sobre o solo (Telles, 1993).

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 (mapa feito na escala 1:10.000, curvas de nível espaçadas de 10 metros e área de 300 km²); projeto da rodovia Vitória a Belo Horizonte (que já havia sido 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.

A crescente aplicação das fotografias aérea em estradas estava sendo cada vez mais aperfeiçoada, principalmente nos Estados Unidos, 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 das aerofotos. Neste período surgia nos EUA o ortofotoscópio.

Monteiro Filho (1953) cita que “a aviação abriu grandes possibilidades para os estudos de projetos e dos traçados de rodovias, seja por simples vôos de observação sobre as áreas em questão, dando a percepção da orografia e das situações, seja pelo exame acurado de fotografias tomadas do alto para a apreciação estereoscópica, para julgamento usando aparelhos modernos ou para desenho de plantas, com curvas de nível, etc”. A análise no escritório, das zonas retratadas permitiu pesar e confrontar soluções e alternativas, para a seleção da trajetória preferível”. Vôos de observação, realizados à 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: 1) simples organização de fotografias sucessivas e seu exame em conjunto; 2) apreciação estereoscópica das vistas para se perceber o relevo e a série de características influentes nas deliberações; 3) trabalhos mais apurados, de aproximações consecutivas, na escolha das faixas e das linhas preferíveis; 4) 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 e outros elementos de interesse para o projeto rodoviário; 5) 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 e muito freqüentemente com escalas entre 1:20.000 e 1:50.000.

A fotografia aérea é citada por Monteiro Filho (1961) como “uma solução mais racional, eficiente e econômica, em levantamentos de grandes áreas, onde aparecem trechos difíceis”. Nessa época (décadas de 1950-60) já eram utilizadas fotografias aéreas para obter informações quanto às constituições geológicas, a resistência dos solos, erosão, tipos de vegetação, 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 (1961), as vantagens gerais da utilização da fotogrametria para projetos rodoviários eram: 1) maior rapidez nas operações; 2) maior abundância de informações; 3) melhores condições para a realização do estudo, no conforto do escritório; 4)

possibilidade de observações estereoscópicas; 5) coleta de preciosas informações suplementares, sobre os solos, condições de drenagem, bases para obras, recursos de construção, etc.; 6) exame de locais à revelia dos moradores ou proprietários; 7) obtenção de um arquivo valioso, sobre ampla faixa dos arredores do local onde a rodovia seria implantada; 8) possibilidade de se reconsiderar ou refazer o estudo, a qualquer momento e sob quaisquer novas prescrições ou finalidades; 9) 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 utilizadas apenas para estudos preliminares e locação de rodovias. Mintzer (1983) descreve os principais usos em engenharia rodoviária que se dava aos produtos de sensoriamento remoto na década de 1970: 1) planejamento de rodovias, incluindo pesquisa de condições de pavimento, inventário e levantamento de tráfego; 2) levantamento de locais para rodovias, incluindo avaliação de corredor e análises ambientais; 3) levantamentos para construção; 4) levantamentos para manutenção; 5) 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 determinados por métodos de campo. Para adquirir dados e analisar condições pertinentes ao planejamento de rodovias e para a 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 rotas. Tais imagens podiam também ser usadas para desenvolver mapas base para apresentação de possíveis alternativas.

As técnicas computacionais começavam a ter maior utilização em levantamentos para quantificar e avaliar a influência relativa de vários fatores na seleção de diretrizes, 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 volumes de corte e aterro por métodos fotogramétricos no projeto de estrada e comparando custos de alinhamentos alternativos.

De acordo com Mintzer (1983), 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. Fotografias aéreas convencionais eram a maior fonte de dados para estes estudos, propiciando uma rápida e econômica análise do ambiente. As fotografias coloridas na escala 1:5.000 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 a forma das propriedades por onde a rodovia passaria. As fotografias infravermelho coloridas na escala 1:5.000 captavam o stress vegetativo que seria estudado em detalhe.

As imagens de sensoriamento remoto, segundo o mesmo autor, começavam a auxiliar organizações rodoviárias na sua interação com pessoas leigas 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 técnica de ortofotografia surgiu no Brasil em 1970, com a aquisição de um ortoprojetor Gigas-ZEISS GZ-1 da Zeiss Oberkochen. O desenvolvimento tecnológico aperfeiçoou rapidamente os equipamentos de ortoprojeção, introduzindo no mercado aparelhos eletrônicos digitais como o WILD OR-1 e o equipamento analítico ZEISS ORTHOCOMP (Loch, 1987). A ortofotocarta era aplicada em projeto de traçados, interseções, duplicações e manutenção de rodovias. Sendo aplicadas também em campos ligados ao projeto rodoviário, como projetos de desapropriação, reassentamento, projetos de monitoramento ambiental e para o cadastro de áreas rurais e urbanas.

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 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 (2002) são: 1) a possibilidade de examinar grandes áreas de terra assegura que será menor a probabilidade de serem negligenciados os melhores locais para a rodovia; 2) um inventário completo de todas as características da superfície terrestre em um determinado local e em um determinado momento pode ser disponibilizado; 3) 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, 1996).

Segundo Dowman (1996), algumas vantagens do uso de imagens digitais em 1996 eram: 1) as imagens podem ser visualizadas e processadas em computadores comuns; não existe a necessidade ótica/mecânica; 2) os sistemas de medição são estáveis e não necessitam de calibração; 3) a imagem pode ser melhorada (por exemplo: contraste e brilho); 4) a automação pode ser aplicada; 5) operações podem ser realizadas em tempo real ou próxima do tempo real.

De acordo com o mesmo autor, a Fotogrametria Digital apresentava naquela época algumas desvantagens: 1) custo de um sistema completo relativamente alto, devido ao preço do scanner (o rendimento da produção compensa este fator de desvantagem inicial); 2) exigência de sistemas computacionais de alta qualidade e capacidade de armazenamento de dados; 3) em alguns casos, ocorrência de resistência por parte dos operadores mais conservadores; 4) necessidade de conhecimento de informática para operar o sistema; 5) qualidade de imagem inferior à de um sistema convencional; 6) automação ainda limitada.

Segundo O'Flaherty (2002), 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 em estudos no campo da engenharia rodoviária.

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 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. Caetano (2002), utilizou imagens ETM+/Landsat-7 e 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.

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.

O Sistema de Radar Aerotransportável (SLAR) tem sido utilizado com sucesso para mapear características culturais, 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 uso de LASERs como instrumento de sensoriamento remoto tem uma história que retrocede mais de 30 anos. Towes e Schawlow estabeleceram a teoria do LASER em 1958. Maiman demonstrou o primeiro LASER funcional – um LASER de rubi – em 1960 (Flood, 2001). As aplicações experimentais iniciais do LIDAR datam dos anos 1970 e 1980, mas a tecnologia foi introduzida à comunidade de mapeamento somente na década de 1990. Recentemente, a maturidade da tecnologia e também o rápido desenvolvimento dos sistemas de orientação direta GPS/IMU apoiando o LIDAR tem aumentado o potencial econômico do sistema baseado em LASER. Três períodos principais podem ser identificados com respeito a aplicações. No começo, o LIDAR foi quase que exclusivamente usado para explorações científicas, principalmente sob a supervisão da NASA. Com o aperfeiçoamento da tecnologia e queda nos preços, o LIDAR entrou no mercado comercial a aproximadamente uma década atrás. Novas companhias foram fundadas, oferecendo serviços para aplicações especiais como levantamento de linhas de transmissão. Operando com helicópteros ou com aviões, estes sistemas LIDAR tinham capacidades limitadas – a baixa altura de vôo permitia somente mapeamento de corredores, embora a densidade da nuvem fosse bastante boa. Finalmente a terceira era de aplicações LIDAR chegou nos anos 1990 (Toth & Grejner-Brzezinska, 2000),

quando avanços adicionais na tecnologia assim como no fornecimento permitiram que as companhias de aerolevantamento tradicional adquirissem o sistema e o integrasse então na produção de mapeamento.

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 distancia 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 distancia 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 referencia WGS 84. Para haver uma acurácia na determinação dos pontos é necessário haver uma boa sincronização entre os componentes envolvidos pelo sistema (Dalmolin & Santos, 2004). 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. 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, 2001).

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 um ponto de medida LASER a cada poucos metros ou 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, 1998).

Vários estudos vem sendo realizados em nível nacional e internacional visando a utilização dos produtos provenientes do sensor Laserscanner em projetos rodoviários. Berg & Ferguson (2001) 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 (2004) utilizou produtos do sensor Laserscanner para o mapeamento temático de áreas de implantação de rodovias.

3. Conclusões

Conforme se pode verificar no histórico do Sensoriamento Remoto aplicado à projetos rodoviários, a evolução dos sensores apresenta hoje diferentes possibilidades para esse campo. 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.

Para uma escolha acertada quanto a que sensores remotos utilizar em cada caso específico, os profissionais envolvidos no projeto devem ter conhecimento tanto das tecnologias disponíveis para o mapeamento como dos requisitos necessários e suficientes para execução correta do levantamento ou projeto. Esse conhecimento a exemplos de outras disciplinas como estruturas, mecânica dos solos, etc. deve ser obtido ainda durante o Curso de Graduação em Engenharia. Portanto vê-se necessidade de inserir uma disciplina específica sobre o Sensoriamento Remoto e sua aplicação para projetos de engenharia nos cursos de Engenharia Civil no país.

Referências

Artigo em Revista:

Berg, R.; Ferguson, J. Mapping Ontario's highways with LIDAR. **Gim International**, Canadá, v. 15, n. 11, p. 44 a 47, nov. 2001.

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.

Livros:

Dalmolin, Q.; Santos, D. R. Sistema Laserscanner: conceitos e princípios de funcionamento (3ª edição). Curitiba, UFPR, 2004.

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.

Mintzer, O. Engineering applications. In: Robert Colwel. **Manual of Remote Sensing**. 2. EUA: 1983, v. 2, p. 1955-2101.

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.

Tese:

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.

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.

Eventos:

Loch, R. Ortofotocarta: produção e aplicações. In: XIII Congresso Brasileiro de Cartografia, Brasília, 1987. **Anais...**Brasília:

Toth, C. K.; Grejner-Brzezinska, D. A. Complementarity of LIDAR and stereo imagery for enhanced surface extraction. In: **International Archive of Photogrammetry and Remote Sensing**. v. XXXIII, Part B3, 2000 Amsterdam.