

Revista Brasileira de Cartografia (2013) N<sup>o</sup> 65/6: 1143-1152  
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
ISSN: 1808-0936

## **LASER SCANNER TERRESTRE PARA MEDIÇÕES FLORESTAIS – PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES**

*Terrestrial Laser Scanner for Forestry Measurements – Principles and  
Applications*

**Matheus Nunes Silva<sup>1-2</sup>; André Leonardo Bortolotto Buck<sup>1-2</sup>;  
Christel Lingnau<sup>2</sup>; Álvaro Muriel Lima Machado<sup>3</sup>;  
Rorai Pereira Martins Neto<sup>2</sup> & Vagner Alex Pesck<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>SF Florestal Ltda. – Sul Florestas**

Avenida Papa João XXIII, 155, 88505-200. Lages – SC, Brasil.  
{matheus.silva, andre.buck}@sulflorestas.com.br

**<sup>2</sup>Universidade Federal do Paraná – UFPR**

**Departamento de Ciências Florestais**

Avenida Pref Lothário Meissner, 900 – Jardim Botânico, 80210-170. Curitiba – PR, Brasil.  
matheusnssilva@gmail.com, andrenado@ibest.com, lingnau@ufpr.br, rorai.neto@gmail.com,  
vagneralex@yahoo.com.br

**<sup>3</sup>Universidade Federal do Paraná – UFPR**

**Departamento de Geomática**

Rua: Cel Francisco H dos Santos s/n – Jardim das Américas, 81531-990. Curitiba – PR, Brasil.  
alvaroml@ufpr.br

*Recebido em 30 de Novembro, 2012/ Aceito em 03 de Maio, 2013  
Received on November 30, 2012/ Accepted on May 03, 2013*

### **RESUMO**

O objetivo deste artigo é apresentar os princípios de funcionamento dos equipamentos *laser scanner* terrestre e as possibilidades de aplicação da tecnologia no setor florestal. O texto relata as tecnologias embarcadas nos equipamentos bem como suas vantagens e desvantagens do ponto de vista de aplicação em levantamentos de informações florestais. São descritos os modelos de varredura *laser* comumente aplicados e os tipos de dados que são gerados. É feita uma descrição do estado da arte no setor florestal para obtenção de informações de alturas, diâmetros, áreas transversais e volumes de árvores, compreendendo também as fases de pré-processamento como identificação e filtragem dos objetos de interesse. Por fim, apresenta-se uma breve abordagem de novas frentes de pesquisa florestal que vem usando esta tecnologia para modelagem de material combustível presente sobre o solo, estudos ecológicos, dendrológicos e qualitativos. Com o potencial dos dados obtidos pelos equipamentos *laser scanner* terrestre, evidenciado pelas atuais pesquisas, espera-se que, ocorrendo uma popularização dos equipamentos, tenhamos sua utilização em larga escala no setor florestal.

**Palavras chaves:** Laser Scanner Terrestre, Variáveis Dendrométricas, Levantamento Florestal.

## ABSTRACT

The aim of this paper is to present the operational principles of terrestrial laser scanner equipments and the application possibilities of this technology in forestry. This text reports the embedded technology in equipments as well advantages and disadvantages for data collection in forestry. The laser scanning models usually applied and the data type obtained are presented. It is described the state of the art in the forest sector to obtain information of heights, diameters, cross-sectional areas and volumes of trees, also comprising the steps of preprocessing such as identification and filtering of objects of interest. Finally, it is presented a brief overview of new areas of forest research that has been using this technology for modeling combustible material present on the ground and for ecological, dendrological and qualitative studies. The potential of terrestrial laser scanning data is evident in the current researches. However, the use of these equipments on a large scale in forestry depends on the specific software development and popularization of equipments.

**Keywords:** Terrestrial Laser Scanner, Dendrometric Variables, Forest Survey.

## 1. INTRODUÇÃO

O *LASER* – (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*), inventado em 1960 por Theodore H. Maiman, teve como precedentes de sua pesquisa dois importantes acontecimentos do meio científico: a publicação, em 1917, de um artigo em que Albert Einstein sugeria a emissão estimulada de radiação luminosa e incentivou o desenvolvimento dos amplificadores e osciladores; e a invenção, em 1954, do *MASER* - *Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, seguindo os passos das pesquisas realizadas durante a Segunda Guerra Mundial com o *RADAR* - *Radio Detection and Ranging*. (BRANDALIZE & PHILIPS, 2002).

Os equipamentos *laser scanner* terrestre (LST) utilizam esta tecnologia para obter distâncias com altíssima precisão em relação a objetos. O resultado é uma nuvem tridimensional de pontos bastante densa podendo facilmente ultrapassar milhões de pontos com apenas alguns minutos de coleta. Esse potencial pode ser explorado para captura rápida e acurada de dados extremamente detalhados com uma ampla variedade de aplicações em florestas, mineração, transportes, planejamento urbano, entre inúmeras outras (LICHTI; PFEIFER e MAAS, 2008).

O nível de detalhamento das superfícies de varredura *laser* permitiu que pesquisadores do setor florestal vislumbrassem a aplicação desta tecnologia em levantamentos de inventário florestal bem como para aquisição de dados nos pátios industriais de estocagem de madeira.

No que se refere aos levantamentos de inventário florestal destacam-se as pesquisas nas linhas de obtenção de variáveis dendrométricas

e quantificação de biomassa, seja esta do tronco ou da árvore completa. Os dados *laser scanner* terrestre possibilitam analisar a geometria ao longo do tronco das árvores, permitindo não somente obter valores de alturas e diâmetros, mas avaliar a tortuosidade, forma e qualidade da madeira em função da inserção de galhos e danos que possam ocorrer no tronco (MAAS *et al.*, 2008).

O desenvolvimento e melhoria de métodos para extração automatizada de informações da nuvem de pontos tem sido o escopo de pesquisadores que estudam o processamento de dados *laser* de árvores individuais e de povoamentos florestais (HOPKINSON *et al.*, 2004; THIES; SPIECKER, 2004; SIMONSE *et al.*, 2003; SILVA, 2011; BUCK, 2012).

Em âmbito nacional são escassas as pesquisas existentes quanto ao uso da tecnologia *laser scanner* terrestre no setor florestal. Metodologias de coleta e processamento de dados já desenvolvidas internacionalmente necessitam ser adaptadas às diferentes características de florestas plantadas.

O artigo busca apresentar o estado da arte no setor florestal destacando as aplicações em dendrometria e inventário florestal bem como conceitos gerais e novas linhas de pesquisa.

## 2. EQUIPAMENTOS *LASER SCANNER* TERRESTRE

Os sistemas de varredura *laser* podem ser classificados como estáticos ou dinâmicos (WUTKE, 2006). O presente artigo aborda apenas os sistemas estáticos.

Existem diferentes princípios de funcionamento dos equipamentos *laser scanner* terrestre, sendo eles: tempo de vôo do sinal (*Time*

of Flight), diferença de fase (*Phase-difference*) e triangulação (*Triangulated Scanner*). Para aplicações florestais os equipamentos mais indicados são os de tempo de vôo do sinal e de diferença de fase.

A tecnologia de tempo de vôo do sinal baseia-se na equação geral da velocidade, razão entre distância e tempo. Pulsos *laser* emitidos atingem e são refletidos pelos objetos. Uma vez que é conhecida a velocidade da luz, a metade do tempo que o pulso levou desde sua emissão até seu retorno é utilizada para calcular a distância do equipamento ao objeto (Figura 1) (MÁRQUEZ, 2010).

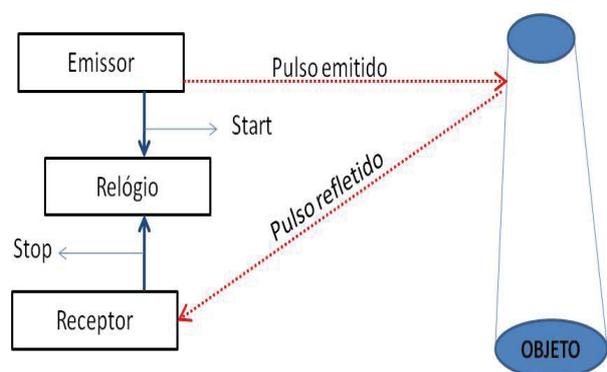


Fig. 1 - Funcionamento de um *laser* tempo de vôo.

Segundo Márquez (2010) a velocidade de amostragem desta tecnologia é mediana, onde os equipamentos mais modernos operam em velocidades de até 128 KHz, ou seja,  $1,28 \times 10^5$  pontos por segundo. Embora este tipo de equipamento não trabalhe em grande velocidade, traz como atrativo a capacidade de alcançar objetos a longas distâncias (até 2 km). Há pouco tempo esses equipamentos eram consideravelmente mais lentos, pois a varredura *laser* com alta densidade de pontos (alta resolução) poderia demorar horas, já que dificilmente apresentavam taxa de coleta superior a 2000 pontos/s (FRÖHLICH; METTENLEITER, 2004).

O método de diferença de fase é também denominado de AMCW (*Amplitude Modulated Continuous Wave*) (MÁRQUEZ, 2010; FRÖHLICH; METTENLEITER, 2004). Assim como os *scanners* por tempo de vôo, os equipamentos que utilizam o princípio AMCW são comuns. No entanto, seu intervalo é restrito ao máximo

de 100 metros com precisão de medidas de distância de alguns milímetros (FRÖHLICH; METTENLEITER, 2004). Segundo os mesmos autores, estes *scanners* estão no mercado há mais de 10 anos. Oferecem altas taxas de amostragem de pontos e trazem como principal desvantagem o fato de possuírem uma faixa restrita de dados sem ambiguidades (problema encontrado em *laser scanners* de mudança de fase. Existe uma distância máxima para a coerência de dados. A partir desta, os valores coletados resultam em distâncias erradas que se confundem com a distância correta de outros objetos).

Vários são os trabalhos científicos que apresentam modelos de equipamentos *laser*, como pode ser observado em Wutke (2006), Fröhlich e Mettenleiter (2004) e Márquez (2010) que retratam também suas aplicações.

Desta forma, para levantamentos a curtas distâncias que necessitem de uma alta densidade de pontos coletados, recomenda-se utilizar um equipamento com tecnologia de mudança de fase. Já no caso de levantamento de objetos que estão a grandes distâncias, um equipamento com sistema de tempo de vôo tem as características mais adequadas (MÁRQUEZ, 2010).

Os equipamentos *laser scanner* terrestre são normalmente montados sobre um tripé ou plataforma estável. O pulso *laser*, em geral, se propaga horizontalmente no sentido horário deslocando-se em pequenos intervalos angulares. A cada incremento (horizontal) por meio de um telescópio ou espelho giratório, o equipamento dispara pulsos verticalmente em intervalos angulares determinados, calculando as coordenadas dos pontos que refletem o sinal. Por este motivo, a precisão de cada equipamento na geração de coordenadas dos pontos depende de sua acurácia na medição de distância e ângulos (MÁRQUEZ, 2010).

### 3. VARREDURAS SIMPLES E MÚLTIPLAS

O levantamento de dados utilizando *laser scanner* terrestre pode ser realizado por meio de uma ou de múltiplas estações. Quando a medição é realizada utilizando apenas uma estação *laser*, a nuvem de pontos gerada pode ser qualificada como dados de varredura simples (BUCK, 2012) (Figura 2).

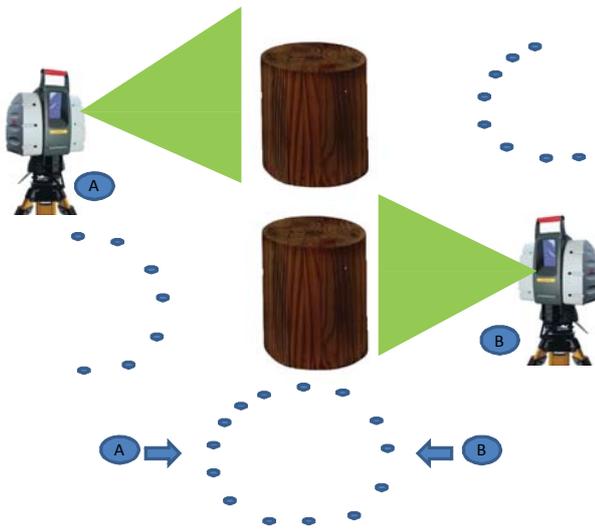


Fig. 2- Dados gerados pela medição *laser scanner* terrestre. (A) Primeira estação laser. (B) Segunda estação laser. (A e B) - Dados referenciados unidos em um mesmo sistema de coordenadas dão origem à varredura múltipla.

O recobrimento total da árvore pode ser alcançado utilizando duas ou mais estações laser. A união de nuvens de pontos de varreduras simples, tomadas em diferentes posições em relação ao objeto de interesse, caracteriza um conjunto de dados de varredura múltipla (BUCK, 2012) (Figura 2). Portanto, na medição de árvores, os dados de varredura simples representam apenas parte do tronco, enquanto que dados de varredura múltipla podem representar o tronco completo (THIES e SPIECKER, 2004).

A geração de uma nuvem de pontos de varredura simples apresenta benefícios referentes ao menor tempo de coleta de dados em campo e também à praticidade por dispensar alvos para a posterior união ou registro, característica particular à geração da varredura múltipla (LIANG *et al.*, 2008).

Embora seja possível processar dados de varredura simples para obtenção das variáveis altura e diâmetros, muitas vezes é preciso realizar o recobrimento total de uma árvore para inferir sobre sua forma e realizar estudos volumétricos, informações que só podem ser alcançadas no processamento da varredura múltipla (BUCK, 2012).

Ao se utilizar a varredura múltipla do objeto de interesse, o nível de detalhamento é muito maior. Neste caso, a necessidade de distribuição de alvos para o registro, transporte e reinstalação do equipamento scanner em locais

distintos pode onerar, em tempo, o processo de coleta de dados (BIENERT *et al.*, 2006).

#### 4. EXTRAÇÃO DE INFORMAÇÕES DENDROMÉTRICAS DA NUVEM DE PONTOS

Após a coleta de dados com equipamentos *laser scanner* terrestre têm-se as referências espaciais de cada ponto (coordenadas X, Y, Z), a intensidade do sinal e um valor de cor (RGB). São dados brutos, mas permitem a extração de informações importantes cabendo a cada pesquisador encontrar formas de viabilizar metodologias para alcançar seus objetivos.

Para analisar as informações contidas na nuvem de pontos, um dos primeiros procedimentos é detectar o objeto de interesse e seu respectivo posicionamento (ASCHOFF; SPIECKER, 2004). Existem várias formas propostas na literatura, as quais podem ser consideradas automáticas, semi-automáticas ou manuais.

No caso florestal, onde o objeto de interesse são as árvores, processos automáticos de localização são fundamentais (ASCHOFF; THIES; SPIECKER, 2004). Um dos métodos mais aplicados para este fim tem sido a transformação “*Hough*” que identifica a tendência do tronco em formar circunferências (SIMONSE *et al.*, 2003; ASCHOFF; THIES; SPIECKER, 2004; BIENERT *et al.*, 2007). Existem outras formas de identificação automática que se baseiam em funções mais simples, como proposto por Bienert *et al.* (2007), com a nuvem de pontos dividida em *clusters*, onde a quantidade de pontos laser é contada e comparada com os *clusters* vizinhos. A árvore é identificada quando existe uma grande quantidade de pontos em um cluster e, eventualmente, em um ou mais clusters vizinhos.

Utilizando essas metodologias é possível alcançar boa acuracidade na identificação automática de árvores (THIES; SPIECKER, 2004; BIENERT; MAAS; SCHELLER, 2006). A varredura simples contribui para a ocorrência de sombreamento de árvores diminuindo a quantidade de indivíduos identificados. Segundo Litkey *et al.* (2008) até 15 m de distância todas as árvores puderam ser identificadas por varredura simples em florestas com coníferas na Finlândia.

Após a identificação das árvores, uma sequência de procedimentos deve ser realizada para que sejam obtidos diâmetros, alturas e

volumes das árvores ou em toras comerciais. O início se dá com a eliminação dos pontos que não pertencem ao tronco das árvores. Esta etapa costuma ser chamada de filtragem e elimina galhos, pontos do solo, vegetação adjacente e sub-bosque (LITKEY *et al.*, 2008; LIANG *et al.*, 2008). Alguns filtros automáticos vêm sendo desenvolvidos como o filtro de intensidade aplicado em dados de equipamentos de mudança de fase (SIMONSE *et al.*, 2003; ASCHOFF; THIES; SPIECKER, 2004). Bienert *et al.* (2006) descreveram um filtro baseado na distância máxima que os pontos podem estar do(s) objeto(s) de interesse. Litkey *et al.* (2008) descreveram um filtro que se baseia no ajuste de uma linha aos pontos. Os pontos que desviam dessa tendência linear são filtrados, eliminando assim pontos de galhos. Lalonde *et al.* (2006) eliminaram galhos, folhas e outros objetos esparsos na nuvem de pontos utilizando estatística multivariada.

Buck (2012) desenvolveu e testou metodologias de filtragem de dados *laser scanner* terrestre para modelagem tridimensional de *Pinus spp* (Fig 3).

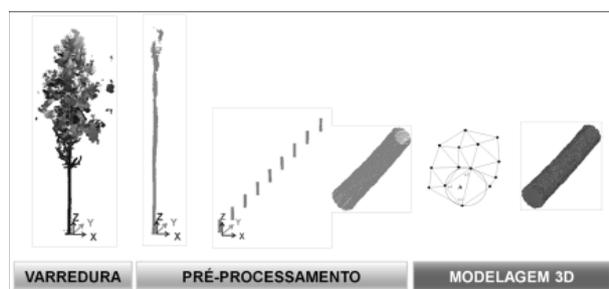


Fig. 3 - Etapas do processamento da nuvem de pontos laser para construção do modelo tridimensional.

A filtragem foi possível até uma média de 65% da altura total da árvore. Após este limiar, foram encontrados mais pontos referentes a galhos e acículas que pontos do tronco, o que inviabilizou a modelagem tridimensional por rede triangular irregular.

Com as árvores isoladas e filtradas torna-se possível a aplicação de metodologias que permitem a extração das variáveis de interesse florestal como a altura total, DAP (diâmetro a altura do peito – 1,30m), diâmetros ao longo do tronco e volumes.

As alturas (total e parciais) são de fácil ob-

tenção. Existem diferentes formas de determinar a altura total por meio de algoritmos. No entanto, todos os métodos buscam encontrar o ponto de menor e maior cota da árvore, todavia conceitualmente, diferem pouco. Com as cotas mínima e máxima determinadas, por meio de uma simples subtração, tem-se a altura total. Porém, Bienert *et al.* (2006) adota o modelo digital do terreno para determinar a cota zero da base da árvore. Outras metodologias mais simples e eficientes realizam uma busca, em um raio próximo da árvore identificada, pelos pontos de menor cota como exemplificado em Litkey *et al.* (2008).

Os resultados para a variável altura têm sido satisfatórios. Wezyk *et al.* (2007) registraram erros médios em valores absolutos para povoamentos de carvalho (*Quercus sp.*) e faia (*Fagus sylvatica*) de 1,10 metros e para povoamento de coníferas o valor foi de 0,79 metros. Bienert *et al.* (2006) encontraram diferenças de 0,22 e 1,47 metros para duas árvores analisadas. Hopkinson *et al.* (2004) alcançaram um erro médio quadrático de 80 cm e uma média subestimando em 1,5 metros. No Brasil estudos foram realizados por Silva (2011) avaliando a diferença entre os dados oriundos de varreduras simples, múltiplas e medições tradicionais (hipsômetro Vertex III) confrontados contra o valor paramétrico da trena após a derrubada das árvores. A pesquisa apontou médias de erro subestimando a altura total em 0,2 m para varredura simples, 0,13 m para varredura múltipla e 0,2 m para o hipsômetro Vertex III. Embora os valores de varredura simples e do hipsômetro sejam iguais, os dados oriundos do *laser* apresentaram erro padrão da média menor. Ao realizar o teste de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) não foi encontrada diferença estatística significativa entre as médias.

Os resultados indicam que a variável altura obtida por meio de dados *laser* tende a uma subestimativa conforme relatado por Lingnau *et al.* (2009) e Silva *et al.* (2011) com medições em *Pinus spp.*, Hopkinson *et al.* (2004) em povoamentos de *Pinus resinosa* e misto de espécies decíduas e Wezyk *et al.* (2007) em povoamentos de carvalho (*Quercus sp.*) e faia (*Fagus sylvatica*). A origem destes erros pode estar vinculada à alta densidade de copa e ao mau posicionamento do equipamento (LINGNAU *et al.*, 2009), uma baixa densidade

amostral de pontos no dossel superior devido a presença de copas no campo de visada do *laser* (HOPKINSON *et al.*, 2004), ou ainda ao fato de os pequenos galhos da copa não serem claramente identificados pela varredura *laser* ao se trabalhar com espécies decíduas (WEZYK *et al.*, 2007).

A obtenção de diâmetros, tanto o DAP (diâmetro a altura do peito, medido a 1,30 m do solo) quanto os demais ao longo do tronco, podem ser obtidos por diversas metodologias. Alguns procedimentos buscam medir o diâmetro propriamente dito, enquanto que outros buscam diretamente a área da seção transversal, justificando este último pela qualidade da informação *laser* que permite representar detalhes da seção transversal obtida na varredura de uma superfície do tronco resultando em um modelo de sólido condizente com a realidade.

Dentre as principais soluções pode-se citar o ajuste da circunferência aos pontos obtidos em uma fatia na altura da região em que se deseja determinar o diâmetro. Para tal, método de ajuste por mínimos quadrados pode ser utilizado (ASCHOFF, THIES, SPIECKER, 2004; BIENERT *et al.*, 2006, BIENERT *et al.* 2007; LITKEY *et al.*, 2008; LIANG *et al.*, 2008; ). Esse procedimento visa encontrar um centro e raio da circunferência que melhor se ajusta ao conjunto de pontos obtidos pela varredura *laser*. Segundo Henning e Radtke (2006), este método quando aplicado nos casos em que existem pontos de galhos ou copa pode superestimar os diâmetros. Já em casos onde o tronco está parcialmente oculto por outros objetos, pode haver subestimação. Desta forma, vale destacar novamente a importância da aplicação de uma metodologia eficaz de filtragem dos dados.

A determinação de diâmetros e áreas de seções transversais pode ser realizada por meio da aplicação de funções *spline* na nuvem de pontos correspondente a seção transversal na altura desejada. A derivação do diâmetro é possível analiticamente considerando o diâmetro da circunferência de área idêntica a da seção transversal modelada pela *spline* (PFEIFER & WINTERHALDER, 2004). Para Lingnau *et al.* (2009) um método simples que pode ser aplicado é o que determina a maior distância entre pontos de uma dada seção transversal ( $x_{\min}$ ,  $x_{\max}$ ,  $y_{\min}$ ,  $y_{\max}$ ) e assim, pelo cálculo da

distância entre pontos, têm-se o diâmetro da seção. Há a possibilidade do uso de cilindros em projeção bidimensional e tridimensional conforme utilizado por Lalonde *et al.*, (2006), o uso de polígonos de forma livre utilizado por Kiraly e Broly (2007), (2010) e Silva (2011), e por fim, a própria transformação de “*Hough*”, exposta anteriormente.

As metodologias atualmente aplicadas apresentam resultados com boa correspondência entre as estimativas tradicionais e as do *laser* terrestre. Para o DAP, Hopkinson *et al.* (2004), em povoamentos de *Pinus resinosa* e *Acer saccharum*, verificaram uma boa relação com a medida tradicional expressa por um coeficiente de determinação alto ( $R^2=0,85$ ). Já no trabalho de Wezyk *et al.* (2007), em povoamentos de coníferas e de carvalho com faia, o ajuste alcançou um coeficiente de determinação de 0,94 quando comparados com resultados tradicionais. Bienert *et al.* (2006) obteve uma estimativa de diâmetros com uma média de erro de 1,5 cm em relação às medições tradicionais em florestas mistas. Na comparação de medições de varredura simples, em relação às medidas da suta, Litkey *et al.* (2008) encontraram um erro médio quadrático de 3 cm em povoamentos de *Pinus spp* na Finlândia. Usando outra metodologia, aplicada em povoamentos de floresta mista, erros médios em relação à suta variaram entre + 0,93 e - 0,96 cm e o maior desvio padrão encontrado entre a medida *laser* e a suta foi 2,47 cm (BIENERT *et al.*, 2006). Testando diversas metodologias em varreduras simples e múltiplas e confrontando os dados com a área transversal real obtida por meio do corte e registro fotográfico de seções transversais, Silva (2011) demonstra que para povoamentos de *Pinus spp*, os métodos que buscam uma aproximação da área transversal real são superiores aos métodos de distância máxima entre pontos da fatia e ajuste de circunferência ótima. Ainda neste estudo aponta que o método do cálculo da distância máxima deve ser evitado, dada à má qualidade de resultados.

Embora os resultados sejam promissores, dificuldades podem ser encontradas para determinar as medidas na parte superior das árvores em função de suas copas (GATZIOLIS *et al.*, 2010).

Normalmente os volumes são estimados para uma espécie ou grupo de espécies usando

equações que geralmente contêm as variáveis independentes como DAP e altura (GATZIOLIS *et al.*, 2010). O ajuste dos modelos de equações contempla a medição de variáveis de difícil aquisição que implicam, geralmente, em métodos destrutivos (derrubada da árvore) para a coleta. O *laser scanner* terrestre apresenta-se como uma ferramenta de grande potencial para determinação dos volumes com acuracidade.

Quanto às metodologias aplicadas no tratamento de dados *laser* para estimativas de volumes, existem diferenças significantes entre as varreduras simples e múltiplas. No caso de varreduras múltiplas é possível a busca por maior precisão utilizando funções mais complexas como as *Splines*, ajuste de cilindros (PFEIFER; WINTERHALDER, 2004), e modelos de superfícies utilizando a triangulação de pontos (ASCHOFF; THIES; SPIECKER, 2004). Com varreduras simples, procedimentos menos complexos podem ser aplicados na modelagem de troncos de árvores, como o de circunferências a alturas variáveis sob um centro comum, usando para tal, um algoritmo de ajuste por mínimos quadrados (BIENERT *et al.*, 2006, BIENERT *et al.*, 2007; LIANG *et al.*, 2008; LITKEY *et al.*, 2008).

Embora os resultados demonstrados a partir de dados de *laser* terrestre sejam promissores, não se pode esperar modelar o tronco de todas as árvores em uma amostragem, principalmente quando se trata de varredura simples. Em casos especiais, entretanto, em que as árvores serão medidas individualmente pelo *laser*, o operador do equipamento poderá posicionar o *scanner* em pontos estratégicos, aumentando a probabilidade de sucesso na reconstrução do tronco para o desenvolvimento de equações de volume. Segundo as experiências de Gatziolis *et al.* (2010) é preferível utilizar o *scanner* a uma distância maior das árvores com uma maior densidade de pontos, do que posicionar o equipamento mais próximo da árvore com uma densidade de pontos menor.

Silva (2011) em povoamentos de *Pinus* spp. utilizou os dados de área transversal obtidos por diferentes métodos de processamento nas fórmulas de cubagem de *Smalian*, *Huber* e *Newton* confrontando com medidas tradicionais (suta e fita) e com medidas paramétricas obtidas pela imersão das toras no xilômetro (método de

deslocamento de água). Os resultados apontaram *Huber* como sendo o melhor método quando se utiliza os valores de área de seção transversal obtidos pelo processamento dos dados *laser* que busca aproximar a área transversal real (método *ÁreaLaser*). Já na comparação entre os resultados obtidos pelo processamento dos dados do laser terrestre (método *ÁreaLaser*) com os resultados de suta para volumetria da primeira tora de um metro apontou que o método *ÁreaLaser* superestima em média 1% enquanto que a suta superestima em média 5% quando comparados com o volume obtido por deslocamento de água.

#### 4.1 Outras aplicações florestais

Além das aplicações mais comuns relacionadas à obtenção de parâmetros florestais tradicionais como alturas, diâmetros e volumes, pesquisas têm apresentado outros potenciais desta tecnologia para o setor florestal. Informações quantitativas e qualitativas de extrema complexidade podem ser obtidas empregando o *laser scanner* terrestre. Dentre as novas aplicações pode-se citar a aplicabilidade de *laser scanner* terrestre móvel para avaliação da quantidade de material combustível acumulada da superfície do solo (Loudermilk *et al.* (2007). Krooks *et al.* (2010) afirmaram ser uma ferramenta com elevado potencial para determinação de biomassa florestal e abordam o uso dessa tecnologia para detecção de mudanças na biomassa de árvores caducifólias. Neste mesmo sentido, segundo Bucksch *et al.* (2010) a obtenção de biomassa de árvores individuais medidas por *laser scanner* terrestre tornou-se uma ferramenta valiosa para valorar econômica e ecologicamente a floresta. Esses autores, medindo biomassa com *scanner* e com métodos tradicionais, chegaram a resultados com uma diferença média de 1,18 dm<sup>3</sup> (litros).

Outros aspectos relativos à floresta podem ser derivados dos dados *laser* terrestre, como a tortuosidade do tronco e a inserção e o número de galhos, características as quais indicam a qualidade da madeira (SCHÜTT *et al.*, 2004) e a avaliação da competição de copas por meio da medição da abertura do dossel. (DANSON *et al.*, 2008). Van der Zande *et al.* (2010) analisaram o uso de *scanner* terrestre para descrever mudanças na entrada de luz na vegetação em diferentes momentos na estação de crescimento do carvalho (*Quercus robur* L.). Puttonen *et al.*

(2010) aplicaram a tecnologia *laser* terrestre para obtenção da área de copa de árvores individuais. Parker *et al.* (2004) aplicaram-na para determinar a estrutura do dossel em florestas. Por fim, alguns autores como Pfeifer, Gorte e Winterhalder (2004) e Bucksch *et al.* (2010) apresentaram metodologias para identificação da arquitetura da copa, ou seja, além da preocupação com o tronco aplicaram um método chamado “*Skeletonization*” (“esqueletização” da árvore), em que se encontram o tronco e galhos.

## 5. CONCLUSÕES

O desenvolvimento das pesquisas no âmbito de aplicações florestais tem mostrado o potencial do levantamento de dados a partir do *laser scanner terrestre*. Avanços metodológicos, tecnológicos e a popularização dos equipamentos *laser scanner* terrestre se pode esperar que futuramente sejam utilizados em larga escala no setor florestal.

A metodologia de coleta de dados em florestas é diferente, possui características peculiares quando comparada com levantamentos em setores como mineração, arquitetura ou engenharia civil. Em florestas as superfícies não são regulares e a coleta de dados é dificultada pela influência de vento, sub-bosque quando houver, galhos e por fim a disposição das árvores. Com exceção ao fator vento os demais influem diretamente na oclusão (sombreamento) total ou parcial de árvores.

Para o processamento dos dados visando a obtenção de informações florestais, embora em outros países existam *softwares*, há a necessidade de ajustes e/ou criação de algoritmos específicos para as condições nacionais.

Avanços são alcançados principalmente em florestas plantadas com destaque na obtenção de informações detalhadas de árvores individuais. As pesquisas devem evoluir buscando ampliar a aplicação para o nível de parcelas e população em florestas plantadas e naturais, sendo esta última um grande desafio dada a variedade de espécies e condições de sub-bosque e dossel existentes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASCHOFF, T.; SPIECKER, H.. Algorithms for the automatic detection of trees in *laser scanner* data. **International Archives of**

**Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 36 – 8/w2. Freiburg, 2004.

ASCHOFF, T.; THIES, M.; SPIECKER, H.. Describing forest stands using terrestrial *laser-scanning*. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences** v. 35, comm. 5, p. 237-241, 2004.

BIENERT, A.,SCHELLER, S.; KEANE, E.; MOHAN, F.; NUGENT, C.. Tree detection and diameter estimations by analysis of Forest terrestrial *lasescanner* point clouds. **ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007**. Finland, 2007.

BIENERT, A.,SCHELLER, S.; KEANE, E.; MULLOOLY, G. MOHAN, F.. Application of terrestrial *laser scanners* for the determination of forest inventory parameters. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, 36. 2006.

BIENERT, A.; MAAS, H.G.; SCHELLER, S.. Analysis of the information content of terrestrial *laserscanner* point clouds for the automatic determination of forest inventory parameters. In: **Workshop on 3D Remote Sensing in Forest**, 14-15. Vienna, 2006.

BRANDALIZE, M. C. B.; PHILIPS, J. W. Padrões de Classificação de Equipamentos *Laser* Utilizados em Levantamentos Terrestres e Aéreos. **Geodésia Online** - Revista da Comissão Brasileira de Geodésia, Florianópolis, v. 1, p. 1, 2002.

BUCK, A.L.B. **Análise de métodos de filtragem em dados laser scanner terrestre aplicados à modelagem tridimensional do tronco de Pinus spp.** 2012. 135f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Florestal, Departamento de Ciências Florestais, UFPR, Curitiba, 2012.

BUCKSCH, A.; FLECK, S.; RUMPF, S.; RADEMACHER, P.. Woody biovolume extraction from *laser* scanned trees. In: **SILVILASER 2010**, 10., 2010, Freiburg, **Proceedings...** Freiburg: **SILVILASER 2010**. 1 CD-ROM.

DANSON, F. M.; HETHERINGTON, D.; MORSDORF, F.; KOETZ, B.; ALLGÖWER,

- B. Terrestrial *laser scanners* to measure forest canopy gap fraction. In: **SILVILASER 2008**, Edinburgh UK. p. 335–341, 2008.
- FRÖHLICH, C.; METTENLEITER, M.. Terrestrial laser scanning – new perspectives in 3D surveying. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Freiburg, v. 36, n. 8/W2, p. 7 -13, oct. 2004.
- GATZIOLIS, D.; POPESCU, S.; SHERIDAN, R.; KU, N.. Evaluation of terrestrial lidar technology for the development of local tree volume equations. In: **SILVILASER 10°**. Freiburg. **Proceedings...** Freiburg, 2010. 1 CD-ROM.
- HENNING, J. G.; RADTKE, P. J.. Detailed stem measurements of standing trees from ground-based scanning lidar. **Forest Science**, v. 1, n. 52, p. 67-80, 2006.
- HOPKINSON, L. CHASMER, L.; YOUNG-POW, C.; TREITZ, P.. Assessing forest metrics with a ground-based scanning lidar. **Can. J. For. Res.**, v. 34, p. 573-583, 2004.
- KIRÁLY G.; BROLLY G.. Tree height estimation methods for terrestrial *laser* scanning in a forest reserve. **IAPRS**, v. 36, p. 211-215, 2007.
- KIRÁLY, G; BROLLY, G.. Volume calculations of single trees based on terrestrial *laser* scanning. In: **SILVILASER, 10°**, 2010, Freiburg. **Proceedings...** Freiburg, 2010. 1 CD-ROM
- KROOKS, A.; HYYPPÄ, J.; LYYTIKÄINEN-SAARENMAA, P.; JAAKKOLA, A.; KAASALAINEN, S.; HOLOPAINEN, M.. Monitoring forest defoliation with terrestrial *laser* scanning. In: **SILVILASER, 10°**, 2010, Freiburg. **Proceedings...** Freiburg, 2010. 1 CD-ROM.
- LALONDE, J. F.; VANDAPEL, N.; HEBERT, M.. **Automatic three-dimensional point cloud processing for Forest inventory**. Pittsburgh: Carnegie Mellon University, p. 16, 2006.
- LIANG, X.; LITKEY, P.; HYYPPA, J.; KUKKO, A.; KAARTINEN, H.; HOLOPAINEN, M.. Plot-level trunk detection and reconstruction using one scan mode terrestrial *laser* scanning data. In: **INTERNATIONAL WORKSHOP ON EARTH OBSERVATION AND REMOTE SENSING APPLICATIONS**, 2008, Beijing, p. 1-5, 2008.
- LICHTI, D.; PFEIFER, N.; MAAS, H. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing theme issue “Terrestrial *Laser* Scanning”. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 63. p. 1-3, 2008 (Editorial).
- LINGNAU, C., MACHADO, A. M. L.; BAVARESCO JUNIOR, A.; COLLA, F. L.. Determinação de diâmetros em diferentes alturas de árvores individuais a partir de dados *laser* terrestre. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 14., 2009, Natal. **Anais...**Natal: INPE 2009. p. 5031 – 5038.
- LITKEY, P.; LIANG, X. HYYPPÄ, J.; KUKKO, A.; KAARTINEN, H.; HOLOPAINEN, M.. Single-scan TLS methods for Forest parameter retrieval. In: **SILVILASER 2008**. Edinburgh UK. p. 295 – 304, 2008.
- LOUDERMILK, E. L.; SINGHANIA, A.; FERNANDEZ, J. C.; HIERS, J. K.; O’BRIEN, J. J.; CROPPER JR, W. P.; SLATTON, K. C.; MITCHELL, R. J.; . Application of ground-based LiDAR for fine-scale forest fuel modeling. In: BUTLER, B. W.; COOK, W.. (Eds) The fire environment—innovations, management, and policy. **CONFERENCE PROCEEDINGS 2007**. Destin, FL. **Proceedings...** Fort Collins: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 26–30 March 2007, p. 662.
- MAAS, H.-G.; BIENERT, A., SCHELLER, S.; KEANE, E.. Automatic forest inventory parameter determination from terrestrial *laser scanner* data. **International journal of remote sensing**, v. 29, n. 5, p. 1579–1593, 2008.
- MÁRQUEZ, A.. **Un tratado sobre el escaner terrestre TLS**. Mecinca, 2010. Disponível em: <<http://www.mecinca.com/papers/EscanerTLS.pdf>>. Acesso em: 03 fev. 2011.
- PARKER, G. G.; HARDING, D. J.; BERGER, M. L.. Aportable LiDAR system for rapid determination of forest canopy structure. **Journal of Applied Ecology**, v. 41, p. 755-767, 2004.
- PFEIFER, N.; WINTERHALDER, D.. Modelling of tree cross sections from terrestrial

- laser* scanning data with free-form curves. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 36, n. 8/w2. Freiburg, 2004.
- PUTTONEN, E.; LITKEY, P.; LIANG, X.; KAARTINEN, H.; KUKKO, A.. Single tree canopy projection area extraction from single-scan terrestrial *laser scanner* data. In: SILVILASER 2010, 10., 2010, Freiburg. **Proceedings...** Freiburg: SILVILASER 2010. 1 CD-ROM.
- SCHÜTT, C.; ASCHOFF, T.; WINTERHALDER, D.; THIES, M.; KRETSCHMER, U.; SPIECKER, H.. Approaches for recognition of wood quality of standing trees based on terrestrial *laserscanner* data. In: INTERNATIONAL ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES (ISPRS), 'LASER-SCANNERS FOR FOREST AND LANDSCAPE ASSESSMENT', 2004, Freiburg, Germany. **Proceedings...** Freiburg: ISPRS, 2004. 179 – 182p.
- SILVA, M. N.; BUCK, A. L. B.; LINGNAU, C.; MACHADO, A. M. L.; MIRANDA, B. P. Varredura com *laser* terrestre para determinação das variáveis dendrométricas da *Araucaria angustifolia*. . In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE 2011. p. 5509 – 5516.
- SILVA, M.N. **Aplicação de laser scanner terrestre para determinação de variáveis dendrométricas em Pinus spp.** 2011. 126 f.
- Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Departamento de Ciências Florestais, UFPR, Curitiba, 2011.
- SIMONSE, M.; ASCHOFF, T.; SPIECKER, H.; THIES, M. Automatic determination of forest inventory parameters using terrestrial *laser* scanning. **Proceedings of the ScandLaser Scientific Workshop on Airborne Laser Scanning of Forests**, Umeå/Sweden,. p. 251-257, 2003.
- THIES, M.; SPIECKER, H.. Evaluation and future prospects of terrestrial *laser* scanning for standardized forest inventories. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XXXVI – 8/w2. Freiburg, 2004.
- VAN DER ZANDE, D.; STUCKENS, J.; VERSTRAETEN, W. W.; MUYS, B.; COPPIN, P.. Assessment of light environment variability in broadleaved forest canopies using terrestrial *laser* scanning. **Remote Sensing**, v. 2, p. 1564-1574, 2010.
- WEZYK, P.; KOZIOL, K.; GLISTA, M.; PIERZCHALSKI, M.. Terrestrial *laser* scanning versus traditional forest inventory first results from the polish forests. **ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007**, p. 424 -429. Finland, 2007.
- WUTKE, J. D.. **Métodos para avaliação de um sistema laser scanner terrestre.** 2006. 86f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.