

Utilização da tecnologia LIDAR para obtenção de altura individual e delimitação automática de copas em povoamento de *Pinus sp.*

Daniele Felix Zandoná^{1,2}
Christel Lingnau²
Nelson Yoshihiro Nakajima²

¹Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC
BR-116 - KM 98 – s/nº
Curitiba – Paraná - Brasil
daniele@lactec.org.br

²Universidade Federal do Paraná – UFPR
Av. Lothário Meissner, 3400 – CEP 80210-170
Curitiba – Paraná – Brasil
(lingnau, nelson.nakajima)@ufpr.br

Abstract. The natural resources administration, both for economical and conservation purposes, requires that information, such as tree height, stand volume and density, must be highly trusted and accurate. Since the ground inventory demands time and resources, and in some cases is unmanageable, photointerpretation and photogrammetry have been extensively used. The data acquisition through Airborne Laser Scanning - ALS systems, based in LIDAR technology (*Light Detection and Ranging*), are promising tools for obtaining vertical and horizontal forest structures, Friedlaender e Koch (2000), forest biomass estimative, Leffsky et al. (1999) and carbon quantification, Patenaude et al. (2004). This work presents a methodology for estimating forest dendrometric parameters from LIDAR in *Pinus sp.* planted forest. The dendrometric variables were determined through tree individualization and automatic crown detection, implemented in GIS software, and the results were compared with true ground data.

Palavras-chave: Tecnologia LIDAR, identificação de árvores, altura individual, delimitação automática de copas, LIDAR Technology, tree detection, tree height, automatic crown delineation.

1. Introdução

Recentes desenvolvimentos em sensoriamento remoto tridimensional, incluindo estéreo-fotogrametria digital, interferometria por RADAR (*Radio Detection and Ranging*) e LIDAR (*Light Detection and Ranging*), em tese, apresentam uma amostragem mais apropriada com relação aos aspectos estruturais da vegetação. Porém, enquanto a estéreo-fotogrametria digital e a interferometria por Radar têm a capacidade de prover mapas da superfície das copas, ambas possuem baixa acurácia quanto à altura das copas, especialmente em florestas densas, Benoît et al. (2001).

Os sistemas a laser aerotransportados, baseados na tecnologia LIDAR, permitem a obtenção de informações tridimensionais a cerca da superfície terrestre com alta precisão. A tecnologia LIDAR utiliza a energia LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) para medir distância de objetos a um determinado alvo.

Esses sistemas são capazes de fornecer modelos acurados a respeito das copas das árvores e da altura da vegetação. Essa característica dá-se em função da pequena divergência dos pulsos laser que, de fato, permite que a energia coerente penetre em áreas com vegetação densa. Essa tecnologia pode ser considerada superior aos métodos fotogramétricos para aplicações florestais, sobretudo em função do conhecimento da superfície do terreno, que, para estas áreas, é dificilmente visualizada em fotografias aéreas, Popescu (2002).

As técnicas tradicionais de inventário florestal demandam tempo e recursos e em alguns casos são inviáveis pelas dificuldades de acesso. Os trabalhos já desenvolvidos e publicados indicam que é possível a extração de variáveis dendrométricas como: altura individual e diâmetro de copa a partir dos dados LIDAR, e com isso obter um ganho na precisão das estimativas de volume e biomassa florestal.

Quando se avalia o povoamento florestal sob o ponto de vista de manejo, torna-se necessário conhecer quanto, quando, onde e como será manejado. Através dos dados LIDAR integrados com Sistemas de Informações Geográficas, torna-se possível, não somente calcular o volume individual da árvore, como também visualizar sua distribuição espacial em todo o povoamento. Informações estas, que poderão ser utilizadas em modelos de otimização de prognose da produção, além de fornecer parâmetros para avaliações sobre o crescimento da vegetação, mapeamento de sítios florestais e estudos de melhoramento de espécies.

Os estudos em florestas plantadas encontram-se em um patamar superior às florestas nativas, onde variáveis como idade e espécie interferem no crescimento e dificultam as estimativas de volume e biomassa. Um dos benefícios da tecnologia LIDAR é justamente a obtenção da altura individual e informações sobre a estrutura das copas, possibilitando a inclusão de novas variáveis nos modelos de regressão. Além disso, torna-se possível uma estratificação florestal através da altura, que poderá ser utilizada como uma ferramenta auxiliar para definição e alocação das parcelas em campo, reduzindo o erro amostral das estimativas.

2. Objetivos

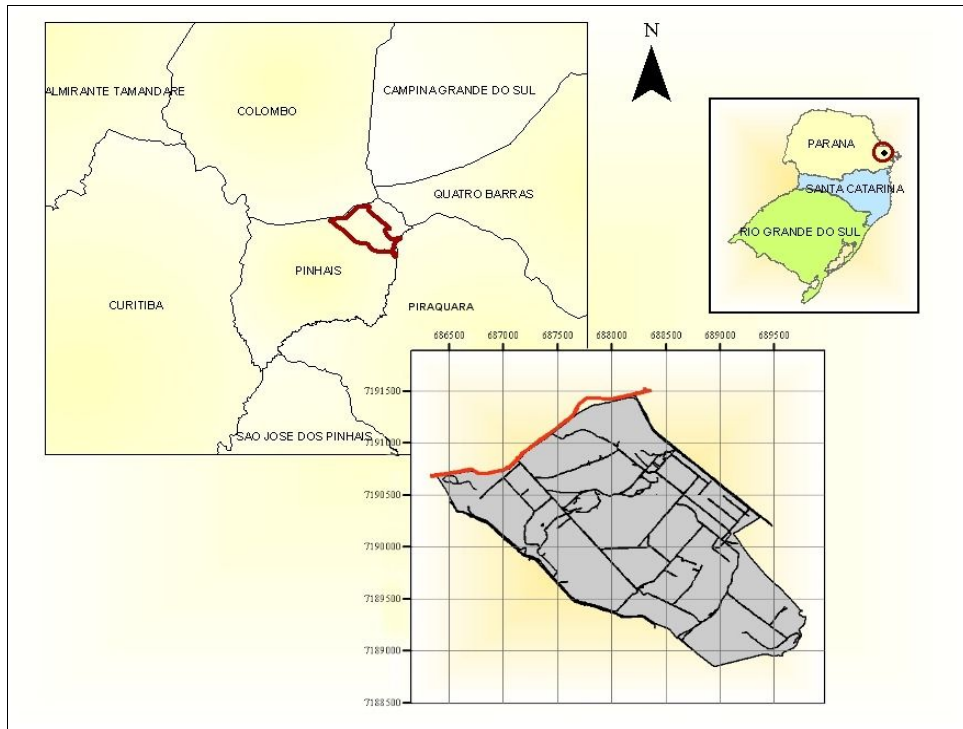
Este trabalho tem como objetivo principal a apresentação de metodologia para extração de variáveis dendrométricas em povoamentos de *Pinus sp.*, como altura individual e área de copa a partir de dados LIDAR. A metodologia envolve os seguintes procedimentos:

- i. Localização de árvores individuais;
- ii. Obtenção da altura individual;
- iii. Delineamento automático das copas;
- iv. Verificação do número de árvores medidas em campo e através dos dados LIDAR;
- v. Comparação entre as alturas medidas em campo e através dos dados LIDAR.

3. Materiais e Métodos

3.1 Área de estudo

O trabalho foi desenvolvido em uma área teste, localizada na Estação Experimental do Canguiri da Universidade Federal do Paraná, município de Pinhais - PR (Figura 01). A área de estudo apresenta elevações variando de 898 a 955 m.



Estação Experimental do Canguiri – UFPR - PR

Figura 1. Mapa de Localização da área de estudo

3.2 Base de dados

3.2.1. Dados LIDAR

Os dados foram adquiridos através de um sistema a Laser aerotransportado *Optech ALTM 2050 - Airborne Laser Terrain Mapper*, pelo Lactec – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, para atender ao propósito deste projeto de pesquisa. Os parâmetros do voo estão apresentados na Tabela 1.

Data do levantamento	15/08/2005
Altura de voo	1000 m
Velocidade de voo	150 km/h
Ângulo de varredura total	15°
Frequência de perfilamento	58,7 Hz
Diâmetro do feixe	0,27 cm
Comprimento de onda do feixe	1024 nm
Precisões	≤ 50 cm na planimetria e ≤ 15 cm na altimetria

Tabela 1. Parâmetros do voo LIDAR

3.2.2 Dados de Campo

Com base em dados de Inventário Florestal, Sanquetta (2004), foram estabelecidos critérios para a alocação das novas amostras em campo, baseados na distribuição diamétrica e densidade (árvores/ha). A densidade, neste caso, foi considerada como sendo o parâmetro de maior efeito, pois interfere diretamente no percentual de retornos dos feixes laser provenientes do terreno, e, conseqüentemente, na precisão das estimativas de altura e individualização das árvores.

A aquisição de dados em campo realizou-se entre os dias 29 de abril a 01 de maio de 2006, onde foram alocadas nove parcelas circulares com raio de 10 m, totalizando 186 árvores. Para cada árvore foram registradas as coordenadas (x, y e z), a circunferência à altura do peito (CAP), altura, posição sociológica (dominante, co-dominante e dominada), qualidade do fuste (torta, bifurcada ou retilínea) e da copa (morta ou viva).

Para o georreferenciamento das árvores e das parcelas, foram utilizados dois receptores geodésicos (LEICA – System 500, modelo SR-530) e uma estação total. A precisão final do levantamento foi de 0,15m nas coordenadas “x” e “y” e 0,25m em “z”, precisão esta julgada compatível para a finalidade de comparação e correlação com os dados LIDAR.

A medição das alturas das árvores foi realizada com auxílio do hipsômetro Hagga. Embora haja uma limitação do equipamento quanto à precisão (equivalente a 10% da altura), é um instrumento bastante utilizado no meio florestal e foi o método disponível quando da execução dos trabalhos. Vale ressaltar que os valores mensurados serão utilizados apenas para uma comparação relativa entre os métodos, pois espera-se, de acordo com a base de conhecimento adquirida, que as alturas estimadas através dos dados LIDAR possuam precisão superior. Entretanto essa hipótese não poderá ser avaliada neste trabalho, dado que não foi possível a derrubada das árvores para cubagem e medição da altura real.

3.3 Metodologia

Na fase de planejamento, uma das primeiras questões levantadas foi a definição da configuração ideal para o voo, de modo a atender às finalidades da pesquisa. Para estes casos a literatura indica uma densidade de pontos resultante entre 3 e 5 pontos/m² ou acima, Popescu (2002). Para atingir densidade equivalente torna-se necessário a diminuição do ângulo de abertura do sensor e da altura de voo, reduzindo a largura das faixas e, por conseguinte, aumentando o número destas para realizar o recobrimento da área. Essas questões são de grande relevância, principalmente quando se está avaliando o custo do mapeamento, sendo este proporcional às horas de voo.

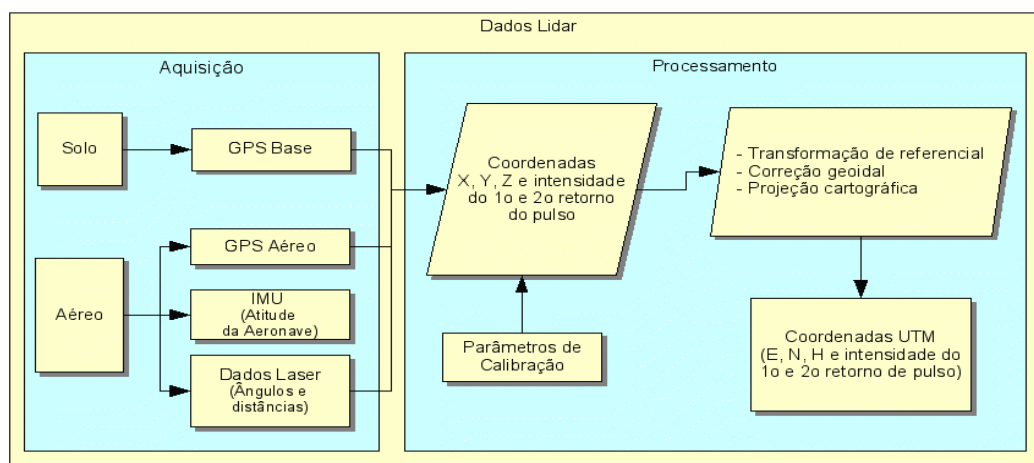


Figura 2. Fluxograma de aquisição e processamento dos dados LIDAR

Com a nuvem de pontos classificada (Figura 3) são gerados Modelos Digitais de Terreno – MDT e Modelos Digitais de Elevação – MDE. A alta densidade de pontos por unidade de área permite uma alta resolução espacial destes modelos, neste caso utilizou-se tamanho de pixel equivalente a 20 cm. Com a subtração algébrica dos modelos (MDE – MDT) obtêm-se o Modelo Digital de Alturas – MDA, este modelo é utilizado como dado de entrada para o algoritmo de delimitação de copas. O fluxograma apresentado na Figura 4 ilustra os processos acima descritos.

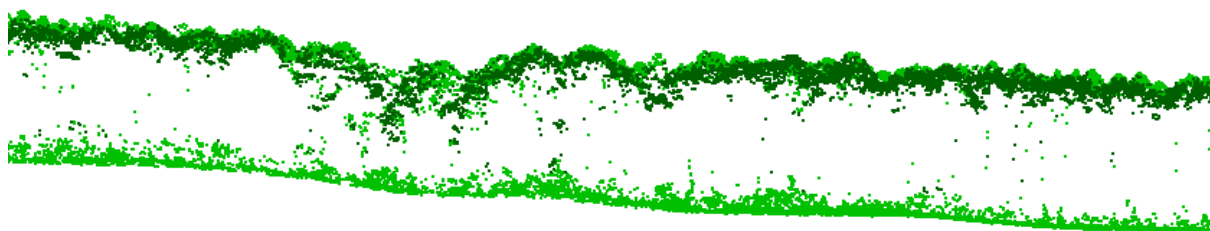


Figura 3. Perfil da Estação Experimental do Canguiri – UFPR – PR

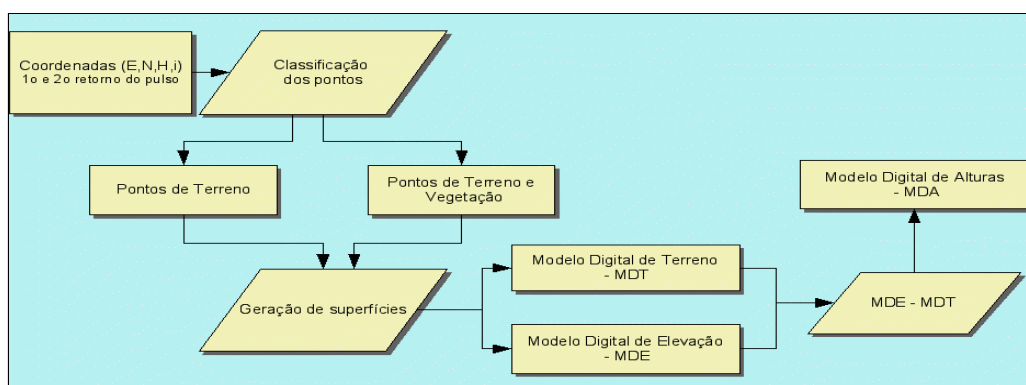


Figura 4. Fluxograma de pós-processamento dos dados LIDAR

3.3.1 Extração de variáveis dendrométricas

A obtenção das informações dendrométricas consiste inicialmente na identificação de árvores individuais, o qual se dá através da aplicação de algoritmos específicos. A identificação das árvores é obtida através da informação do primeiro pulso (considerados topo dos objetos). A partir desses dados é realizada uma pesquisa espacial, onde os máximos locais são identificados para um raio de busca variável.

Variações deste algoritmo têm sido utilizados com resultados positivos, Tiede et al. (2005). Os dados do primeiro pulso juntamente com a informação da altura extraída do MDA (Modelo Digital da Altura), são utilizados como dados de entrada. A definição dos topos das árvores é baseado no modelo de regressão definido por Hasenauer (1997); Kini e Popescu (2004), que relaciona a variável diâmetro de copa e a altura total individual.

$$Dcopa = a + b * Htotal$$

onde:

Dcopa = diâmetro de copa

Htotal = altura total

Os coeficientes finais obtidos para a área de estudo foram: $a = 2,525844$ e $b = 0,016932$. A equação ajustada, não define o diâmetro de copa, mas apenas o raio de busca variável para cada ponto analisado.

O algoritmo para a delimitação das copas utiliza como dados de entrada o resultado do algoritmo de individualização das árvores e o MDA. Estes pontos são utilizados como pontos semente em um algoritmo de crescimento de regiões, Tiede et al. (2005).

O ponto de máximo, considerado o topo da árvore, é o ponto inicial, a partir do qual é realizada uma pesquisa no MDA em oito direções. Cada célula vizinha é comparada com a célula inicial, de modo que as células incluídas como pertencentes à copa são aquelas com altura menor que a célula inicial. Este procedimento é repetido para todas as células que atendam as condições:

- i. Considera-se como copa, células cujo valor da altura é maior ou igual a 10 metros;
- ii. As células cujo valor de altura for menor ou igual a 85% da altura total serão ignoradas;
- iii. Diâmetro de copa máximo deverá ser menor ou igual a 5 metros.

Os primeiros resultados do algoritmo mostraram o surgimento de algumas discrepâncias na geração das copas em função de pequenos picos e depressões no MDA. O algoritmo tem como premissa uma copa regular com declividades homogêneas, o que pode não ocorrer na prática. Para solucionar esta questão optou-se por utilizar um filtro de moda retangular (3x2), para suavizar o raster (MDA).

4. Resultados e Discussões

As árvores identificadas automaticamente (Figura 5) foram comparadas com àquelas reconhecidas e mensuradas em campo. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos:

Parcela	Árvores medidas em campo		Algoritmo de Individualização de Árvores		Acerto (%)	
	Total	Dominantes	Total	Dominantes	Total	Dominantes
A	16	13	14	12	87,5	92,3
B	21	10	18	9	85,7	90,0
C	18	9	17	9	94,4	100,0
D	26	13	18	12	66,7	92,3
E	20	12	15	11	75,0	91,7
F	15	9	15	9	100,0	100,0
G	10	9	10	9	100,0	100,0
I	32	13	22	13	68,7	100,0
L	27	11	25	11	92,6	100,0
TOTAL	186	99	154	95	82,8	95,9

Tabela 2. Identificação das árvores

NOTA: O percentual de acerto foi calculado para o total das árvores (incluindo: Dominantes, Co-dominantes e Dominadas) e considerando somente as Dominantes.

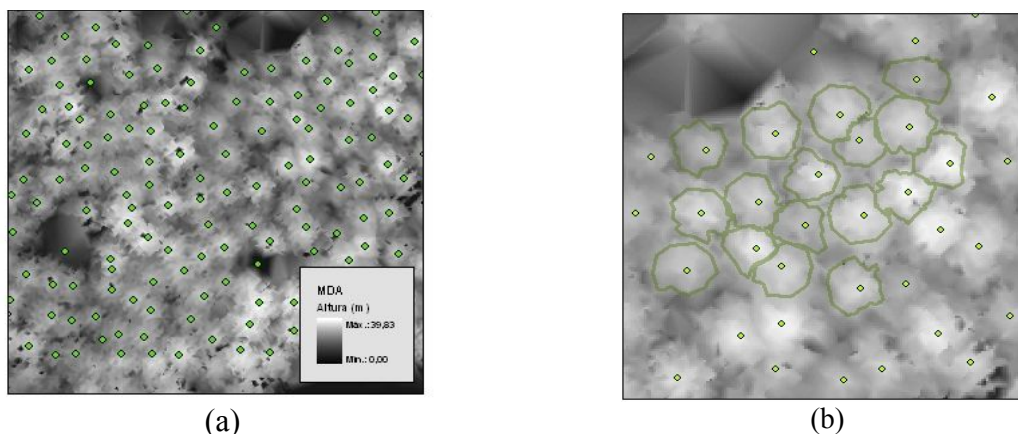


Figura 5. Resultado do algoritmo de identificação das árvores (a) e delimitação das copas (b)

Considerando todas as parcelas medidas em campo, atingiu-se um percentual de acerto de 82,8% (incluindo dominantes, co-dominantes e dominadas). Referindo-se somente às dominantes, o percentual de acerto foi de 95,9%. Observa-se que para as parcelas “D”, “E” e “I” o algoritmo obteve desempenho inferior, sobretudo quando avaliadas todas as árvores. Estas parcelas encontram-se em áreas mais densamente povoadas, fato este que exerce influência direta na penetração dos feixes Laser no terreno.

Realizou-se a comparação entre as alturas mensuradas em campo e as alturas extraídas dos dados LIDAR. O hipsômetro utilizado para as medições em campo possui um erro médio equivalente a 10% da altura. Não foi possível a derrubada das árvores para realização de cubagem rigorosa e obtenção das alturas, portanto a Tabela 3 apresenta uma comparação relativa entre os métodos de mensuração em campo e através dos dados LIDAR.

Parcela	Altura média (m)		Resíduos (%)
	Campo	LIDAR	Médio
A	33,67	30,99	7,95
B	34,09	32,66	4,19
C	35,40	32,95	6,92
D	29,00	28,97	0,10
E	34,07	32,08	5,84
F	34,33	32,90	4,17
G	32,00	29,16	8,88
I	33,09	31,78	3,96
L	31,50	30,32	3,75

Tabela 3. Diferença entre as alturas medidas em campo e através dos dados LIDAR

O resíduo médio foi calculado a partir da diferença percentual entre o valor médio das alturas obtidas em campo e através dos dados LIDAR, para cada parcela. Observa-se que a média dos valores de altura por parcela medidos em campo são maiores que os estimados pelos dados LIDAR. Esta tendência dos dados LIDAR de subestimar as alturas já foi identificada em outros trabalhos de Friedlaender e Koch (2000); Nilsson (1996); Naesset (1997). Porém, neste caso, não é possível avaliar a magnitude absoluta do erro das estimativas de altura, em função da baixa precisão do hipsômetro.

5. Conclusões

Este trabalho se propôs a desenvolver uma metodologia para extração de variáveis dendrométricas a partir de dados provenientes de Sensor Laser Aerotransportado. Para que fosse possível abstrair as informações adquiridas pelo sensor, de modo a derivar as características dendrométricas do povoamento florestal, foi imprescindível a utilização de algoritmos computacionais. Adaptou-se, neste trabalho, a metodologia para individualização de árvores e delimitação de copas de Tiede et al. (2005).

Os resultados apresentados no item 4 demonstram que é possível a identificação de árvores individuais com alta precisão, sobretudo as árvores que se encontram no dossel superior (dominantes e co-dominantes), onde o acerto médio incluindo todas as árvores foi de 82,8%. Observou-se também que o fator densidade do povoamento interfere na eficiência do algoritmo, fato este já observado em outros trabalhos. Porém, dada a grande densidade de pontos adquirida pôde-se observar um alto percentual de retornos da superfície do terreno, fato este que garantiu, mesmo em áreas densamente povoadas, identificar as árvores individuais de modo eficiente.

Este estudo, embora inicial, mostrou a viabilidade técnica da utilização da tecnologia LIDAR para estimativa de variáveis dendrométricas. Os resultados preliminares são promissores, no entanto, novos estudos devem ser incentivados para o aprimoramento da metodologia e avaliação com dados mais confiáveis de campo.

Referências

- Benoît, A. et al. **Measuring Forest Canopy height using a combination of Lidar and aerial photography data**. IAPRS, Vol. XXXIV, Annapolis, 2001.
- Friedlaender, H., Koch, B. **First experience in the application of laser scanner data for the assessment of vertical and horizontal forest structures**, IAPRS, Vol. XXXIII, Amsterdam, 2000.
- Haugerut, R. A.; Harging, D. J. **Some algorithms for virtual deforestation (VDF) of LiDAR topographic survey data**. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, v. 53, p. 193-203, 2001.
- Kini, A., Popescu, S.C., **TreeVaW: a versatile tool for analyzing forest canopy LIDAR data: A preview with an eye towards future**. CD-ROM Proceedings, ASPRS 2004 Fall Conference, Kansas City , Missouri , Sept. 12-16, 2004.
- Lefsky, M. A. et al. **Surface LIDAR remote sensing of basal area and biomass in deciduous forests of Eastern Maryland, USA**, Remote Sensing of Environment, New York, v. 67, p. 83-98, 1999.
- Naesset, E. **Determination of mean tree height of forest stands using airborne laser scanner data**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, v. 52, p. 49-56, 1997.
- Nilsson, M. **Estimation of tree heights and stand volume using an airborne lidar system**. Remote Sensing of Environment, v. 56, p. 1-7, 1996.
- Patenaude, G. et al. **Quantifying forest above ground carbon content using LiDAR remote sensing**, Remote Sensing of Environment, New York, v. 93, p. 368-380, 2004.
- Popescu, S. C. **Estimating Plot-Level Forest Biophysical Parameters Using Small-Footprint Airborne Lidar Measurements**. Blacksburg, Virginia, 115f. Tese (Doutorado em Floresta) - Department of Forestry, Virginia Tech, 2002.
- Sanquetta, C. R., **Inventário Florestal de Povoamento de Pinus sp. na Região de Pinhais-PR**, Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2004, Relatório técnico UFPR.
- Tiede, D., Hochleitner, G., Blaschke, T. **A Full GIS-Based Workflow for Tree Identification and Tree Crown Delineation Using Laser Scanning** Stilla U, Rottensteiner F, Hinz S (Eds) CMRT05. IAPRS, v. XXXVI (3/W24), Vienna, Austria, 2005.