

## **Análise da contribuição do sensor LiDAR para determinação dos estágios sucessionais da vegetação – um estudo de caso para o Município de São Sebastião, SP, Brasil.**

Rocky Helripio Lopes Santos<sup>1</sup>  
Elisa Araujo Penna Caris<sup>1</sup>  
Rafael Balbi Reis<sup>2</sup>  
Bruno Coutinho Kurtz<sup>3</sup>  
Carla Bernadete Madureira Cruz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Departamento de Geografia, Rio de Janeiro, RJ  
Laboratório Espaço de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais  
Av. Athos da Silveira Ramos, 274 Bloco I sala 010  
CEP 21941-611 Rio de Janeiro – RJ - BR  
elisacaris@yahoo.com.br; rhelripio@gmail.com; cmad@ufrj.br

<sup>2</sup>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
Diretoria de Geociências/Coordenação de Cartografia  
Avenida Brasil 15671, Bloco 3B  
CEP 21010-075 Rio de Janeiro – RJ - BR  
rafael\_reis@ibge.gov.br

<sup>4</sup>Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro  
Diretoria de Pesquisa  
Rua Pacheco Leão, 915, Rio de Janeiro, BR.  
bkurtz@jbrj.gov.br

**Abstract:** One way to determine the conservation status of forest fragments is through the successional stage of the vegetation. The CONAMA resolution n<sup>o</sup>1, of January 31, 1994, provides the parameters that define these stages for the State of São Paulo. This work aims to show the contributions of the LiDAR in identifying the successional stages of vegetation at the municipality of São Sebastião, São Paulo. Through an image-difference between the digital surface model (DSM) and digital terrain model (DTM), it was developed a simple classification based on slicing algorithms of raster data, applied through the ArcGIS 9.3. This classification considered only average heights of the class intervals established in the CONAMA resolution. The analysis for each stage showed good results. Out of the 40 individuals sampled in the initial stage quadrat, 75% were within the range established by the resolution; in the medium and advanced stage quadrats, 71% and 60% of individuals had heights compatible with those established by the resolution, respectively. The results thus showed the great adequacy in using this sensor to inferring the successional stage of vegetation. However, height is just one of the parameters of the resolution, and the correlation of remote sensing data, such as digital elevation models and vegetation indices, with vegetation data deserve to be investigated, allowing the use of more parameters in defining successional stages.

**Palavras-chave:** remote sensing, digital elevation models, forest succession, sensoriamento remoto, modelos digitais de elevação, sucessão florestal.

## 1. Introdução

O rápido crescimento da população humana e o uso desordenado dos recursos naturais pelo homem modificaram grande parte dos ambientes da Terra. As atividades antrópicas mudam a diversidade da vida do planeta e uma das principais alterações é a perda da biodiversidade (Dias, 2006). Outra consequência das atividades humanas é a fragmentação de áreas que antes eram contínuas. Como exemplo tem-se a Mata Atlântica (MA) que ocupava uma área original de aproximadamente 1.110.182 Km<sup>2</sup>, e hoje restam apenas 20% de seus remanescentes florestais (MMA, 2006).

Com o objetivo de proteger os remanescentes florestais de MA do desmatamento, o governo brasileiro através do Decreto nº 750 de 10/02/1993 dispôs no Art. 1 que “ficam proibidos o corte, exploração e a supressão de vegetação primária ou nos estágios avançado e médio de regeneração da Mata Atlântica”. Já a resolução nº 10 de 01/10/93 do CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) estabeleceu os parâmetros básicos para análise dos estágios de sucessão secundária da MA.

Para o Estado de São Paulo, a resolução CONAMA nº 01, de 31/01/1994 traz uma série de parâmetros para a identificação dos diferentes estágios sucessionais da vegetação nativa que incluem a altura das plantas lenhosas, o diâmetro médio dos troncos na altura do peito, presença de epífitas, trepadeiras, entre outros. Entretanto, a identificação destes parâmetros em campo é custosa e leva tempo o que, muitas vezes, entra em conflito com as urgências, por exemplo, da gestão de uma unidade e conservação.

Desta maneira, o Sensoriamento Remoto (SR), em função do fornecimento periódico de imagens em diferentes resoluções permitindo graus variados de detalhamento da área observada, pode oferecer um grande avanço no processo de aplicação da legislação ambiental em suas diversas fases, desde o planejamento e delimitação de áreas livres para o uso, até a fiscalização do uso já presente no território.

Alguns trabalhos sob esta ótica já foram desenvolvidos usando técnicas de SR com diferentes tipos de imagens (e.g. Rosário et al., 2009; Cintra et al., 2009). Mais recentemente, estudos com o sensor LiDAR demonstram excelentes resultados na caracterização da composição e estrutura de florestas tropicais (e.g. Castillo-Núñez et al. 2011, Jaskierniak et al. 2011).

Desta forma, este trabalho tem por objetivo verificar a acurácia do uso de imagens do LiDAR para determinação de altura de árvores como subsídio para identificação dos estágios sucessionais da vegetação no município de São Sebastião, São Paulo.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1 Área de Estudo

O Município de São Sebastião (23° 38' 52" e 23° 50' 30" de latitude Sul e 45° 23' 44" e 45° 50' 00" de longitude Oeste) está localizado no litoral do Estado de São Paulo, região Sudeste do Brasil (figura 1). Possui uma área de 400 km<sup>2</sup> (IBGE, 2010), da qual cerca de 70% é ocupada pelo Parque Estadual da Serra do Mar e conseqüentemente por Mata Atlântica (Rodríguez, 2005). São Sebastião é dividido em três unidades geomorfológicas: a primeira compreende a Zona de Baixadas Litorâneas; a segunda a Província Costeira, na qual a Zona da Serra está incluída; e por fim a terceira, que é o Planalto Atlântico, conhecido como Planalto Paulistano. Esta última unidade detém apenas uma pequena parte do município com a presença das cristas da Serra do Mar.

O clima é quente e úmido, sem estação seca (Af), se restringindo da baixada litorânea até o início da Serra do Mar, onde através da diminuição das temperaturas por conta do aumento da altitude se muda para um clima mesotérmico; e o clima subtropical de altitude, úmido, sem estiagem, localizado entre a Serra do Mar e a planície litorânea (Setzer 1966 *apud*

Rodríguez 2005).

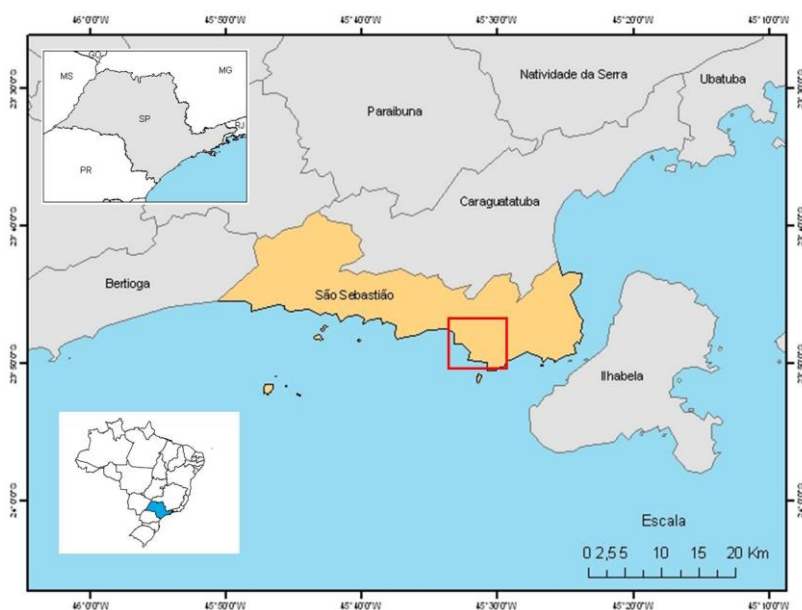


Figura 1: Localização da área de estudo.

## 2.2. Metodologia de trabalho

Para determinação da altura das árvores foram utilizadas ortofotos do LiDAR (*Light Detection and Ranging* – Detecção de Luz e Distância). O sistema ALTM 2050, presente no sistema LiDAR, registra os dados referentes ao primeiro e ao último retorno de cada pulso laser. A partir das informações desses retornos foi possível gerar o Modelo Digital da Superfície terrestre (MDS) e o Modelo Digital de Terreno (MDT). O MDS é adquirido a partir do somatório dos dois retornos, ou seja, ele representa toda elevação presente no terreno, inclusive o próprio terreno, quando este se encontra sem nenhum obstáculo que o cubra. A aquisição do MDT é realizada ao se considerar apenas o último retorno do laser – por exemplo, em uma aplicação em área florestada o feixe terá o primeiro retorno sobre a copa das árvores e um possível último retorno no solo, sendo que o conjunto dos últimos retornos é a base para a construção do MDT (figura 2).

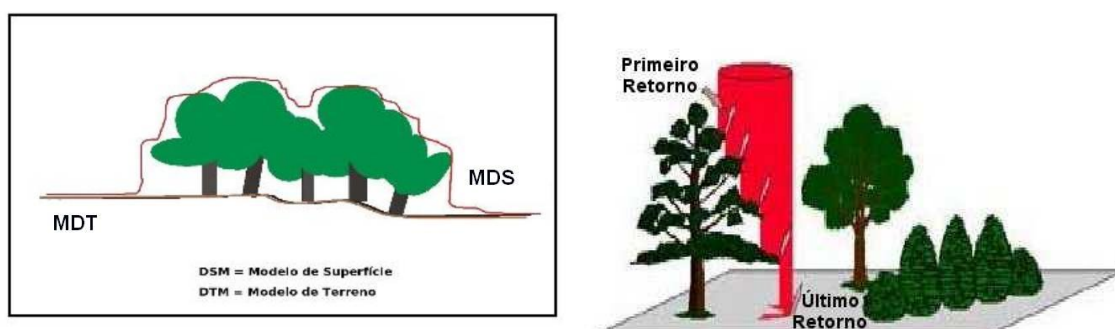


Figura 2: Representação do Modelo Digital de Terreno e do Modelo Digital de Superfície e dos diferentes pulsos de laser do LiDAR.

A figura 3 apresenta as etapas de desenvolvimento do trabalho.

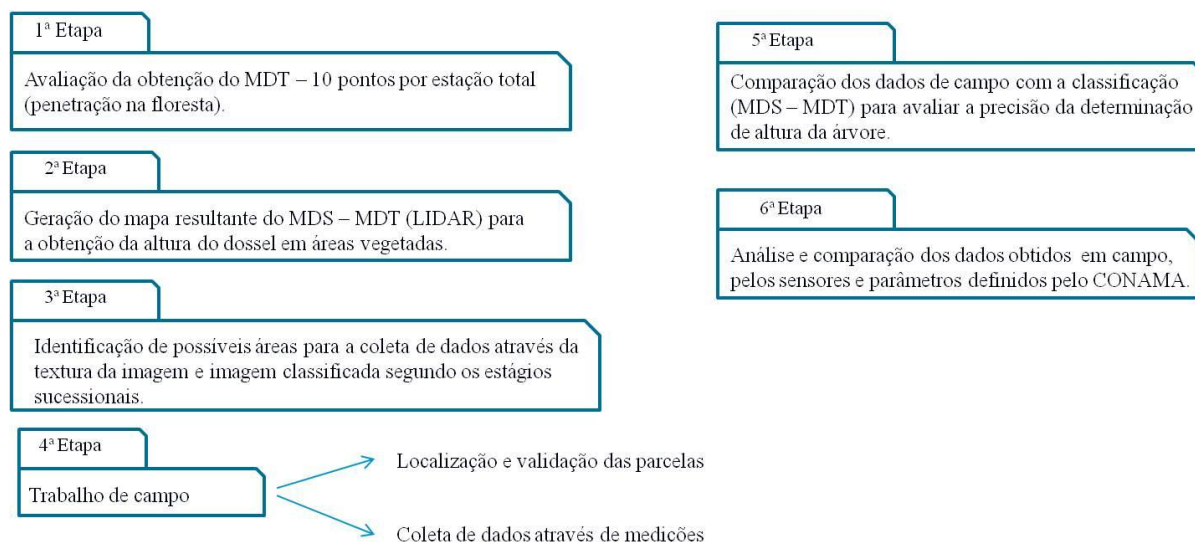


Figura 3: Etapas de desenvolvimento do trabalho.

Pra obtenção da altura do dossel nas áreas de floresta foram geradas imagens com os dados de diferença entre o MDS e o MDT. A imagem-diferença obtida pelos modelos do LiDAR, para este trabalho, apresenta resolução espacial de 1 metro, garantindo assim, um bom detalhamento.

O modelo digital resultante da diferença entre o MDS, relativo ao topo das árvores, e o MDT, relativo ao terreno, possibilita inferir a altura das árvores do dossel. Uma classificação simples, baseada em algoritmos de fatiamento de dados matriciais, foi aplicada através do ArcGIS 9.3 considerando a média das alturas dos intervalos de classes estabelecidos na resolução CONAMA nº 1, de 31 de janeiro de 1994.

A partir da análise da imagem classificada por estágios sucessionais foram escolhidas doze regiões para a mensuração da altura das árvores em campo, com o suporte das ortofotos do LiDAR e imagens do *Google Earth*. Cada quatro regiões foram escolhidas no sítio de um tipo de estágio sucessional, segundo a imagem classificada. Privilegiou-se a escolha de áreas com diferentes declividades. O campo ocorreu entre os dias 21 e 25/09/2009.

Para determinação da altura das árvores em campo foram delimitadas parcelas de 20x20 metros em cada um dos três estágios sucessionais. No interior destas parcelas todos os indivíduos arbóreos foram mensurados através de um podão de 10 metros de comprimento com auxílio de um técnico de campo experiente.

Após a coleta em campo, os dados de altura das árvores foram tratados em laboratório, alimentando uma planilha, onde puderam ser comparados às informações obtidas pelos modelos de elevação e às da Resolução CONAMA de 31 de janeiro de 1994.

### 3. Resultados e Discussão

Os dados obtidos em campo e processados em laboratório foram confrontados com os dados obtidos através dos modelos digitais do LiDAR, organizados conforme o estabelecido na Resolução CONAMA 31/01/1994. Os dados de campo possibilitaram a avaliação dos produtos de sensoriamento remoto.

A figura 4 apresenta o resultado da classificação.

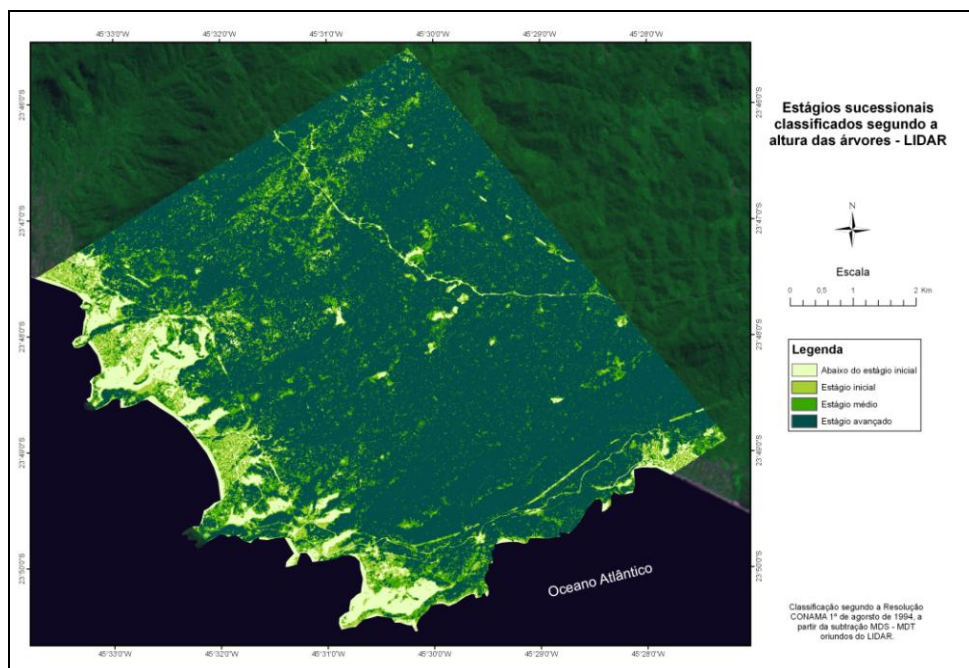


Figura 4: Estágios sucessionais classificados segundo a altura das árvores a partir de dados do LiDAR.

### 3.1. Análise do Estágio Inicial

Em relação à coleta de dados na parcela foram amostrados 40 indivíduos, sendo que destes, 30 (75%) se encontram dentro do intervalo de altura estabelecido pelo CONAMA (gráfico 1).

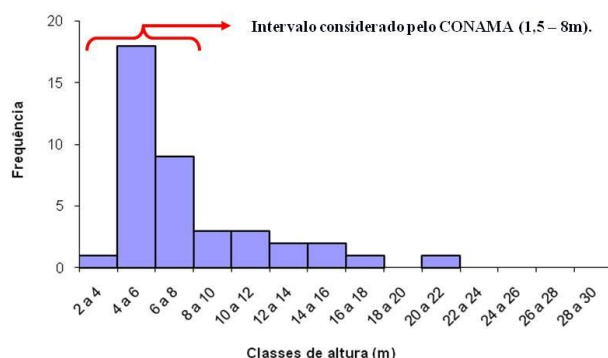


Gráfico 1: Dados de campo da altura das árvores amostradas na parcela em estágio inicial de sucessão.

Os dados apresentados no gráfico permitem considerar que o parâmetro de altura das árvores encaixa a parcela na classe do Estágio Inicial, porém, se considerarmos o Estágio Médio, este detém 34 indivíduos (85%), o que representa uma maioria. No entanto deve-se considerar que existe uma grande interseção entre estes dois estágios em se tratando desse parâmetro – as alturas de 4 a 8 metros estão presentes nas duas classes. Desta forma, ambos têm possibilidade de ter altos valores em Estágios Iniciais de maior porte. Apenas 8 indivíduos (20%) se encaixam no estágio avançado. Este dado aponta que possivelmente estes são remanescentes de uma vegetação que existia e que sofreu algum distúrbio, antes dos

indivíduos menores surgirem. A média da altura de indivíduos é de 7,34 m e o desvio padrão é de 3,90 m.

É possível que o sensor LiDAR, por apresentar maior sensibilidade aos obstáculos, tenha considerado as copas dos 8 indivíduos que ultrapassam 10 metros cobrindo toda a área. O fato da região ter a maioria dos espaços preenchidos por outros estágios não pôde indicar, nesta parcela, um estágio avançado e sim uma possível região de mistura ou transição de estágios.

### 3.2. Análise do Estágio Médio

Os dados que foram coletados em campo refletiram a possibilidade de existência de um Estágio Médio na área da parcela, conforme gráfico 2.

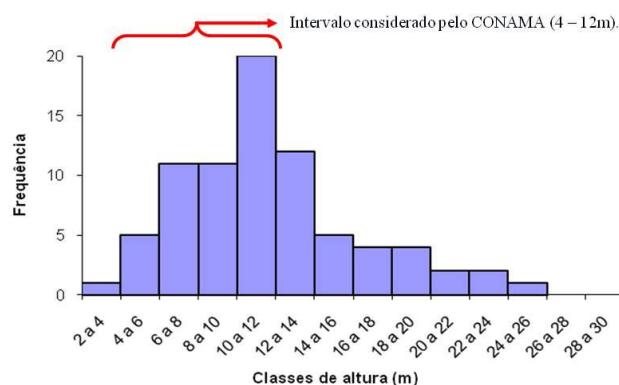


Gráfico 2: Dados de campo da altura das árvores amostradas na parcela em estágio médio de sucessão.

Foram amostrados 78 indivíduos dentro da parcela. Do total, 56 (71%) apresentaram altura compatível com os parâmetros do CONAMA para este estágio. Houve presença de indivíduos no Estágio Avançado, somando um total de 30 (38%), sendo que 21 desses (26% do total na parcela) se encaixam apenas no Estágio Avançado. Apenas 1 indivíduo se apresentou abaixo do Estágio Médio. A média das alturas foi de 11,28 m e se encontrou dentro do intervalo da classe, sendo de certa forma um valor alto. O desvio padrão ficou em 4,52 m, mostrando que alguns indivíduos extrapolam a classe, porém sem exagero que a comprometa.

O resultado das medições em campo tende a avaliar a parcela como tendo o parâmetro de altura pertencente ao Estágio Médio, mesmo apresentando grande quantidade de indivíduos fora deste (26%); a questão é que, analisando o entorno, há forte presença de vegetação do Estágio Avançado, esta exercendo forte influência sobre a região em Estágio Médio, em termos de fornecer sementes de espécies com maior porte, ou aumentando a competitividade por luz, exigindo que a vegetação cresça mais. Ao comparar os dados de campo com a classificação apresentada pelo LiDAR, a fim de avaliar sua capacidade de obtenção da altura do dossel, tem-se que para este caso a classificação se apresentou satisfatória.

### 3.3. Análise do Estágio Avançado

Foram mensurados 65 indivíduos, dos quais 22 (33%) se encontram elegíveis ao Estágio Inicial, 40 (61%) se encontram em Estágio Médio e 39 (60%) se enquadram dentro da medida de altura para o Estágio Avançado. A distribuição das quantidades está disposta no gráfico 3.



A distribuição destes valores surpreende se for considerada a quantidade como única forma de analisar a questão da altura. Percebe-se que os estágios Médio e Inicial apresentam relativa quantidade. Porém, para a análise desse parâmetro faz-se importante analisar a altura dos indivíduos no dossel, sendo estes os que melhor são reconhecidos no MDS.

Para esta parcela houve a ocorrência de 10 (15%) indivíduos no dossel, com altura máxima de 28 metros. A média de alturas foi de 21,2m e o desvio padrão de 6,1m. Para este caso, os valores indicaram que não houve nenhum indivíduo presente no dossel que se enquadrasse em outro estágio, sendo o menor porte no dossel o de um indivíduo de 15 metros.

Analisando a imagem classificada (figura 1) é possível perceber que estas obtiveram bom resultado, uma vez que a classe na imagem coincidiu com as informações coletadas em campo.

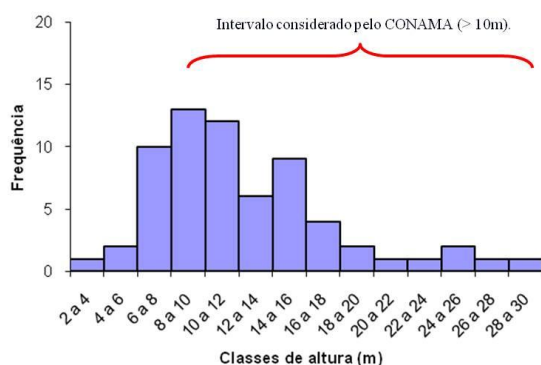


Gráfico 3: Dados de campo da altura das árvores amostradas na parcela em estágio avançado de sucessão.

Abaixo segue uma tabela sintetizando os dados levantados, com os cálculos de média e desvio padrão para as três parcelas (Tabela 1).

Tabela 1: Cruzamento dos dados de campo com os dados do CONAMA. Legenda: DP = Desvio Padrão, H = altura.

Dados de campo	Vegetação Secundária		
	Estágio Inicial (alturas das plantas lenhosas estão situadas geralmente entre 1,5m e 8,0m)	Estágio Médio (a altura das árvores pode variar de 4 a 12m)	Estágio Avançado (alturas máximas ultrapassam 10m)
Médias de H	7,34m	11,28m	11,77m
DP da H	3,90m	4,52m	5,30m
Médias da H somente dos indivíduos presentes no dossel	Quantidade de indivíduos = 6 Média = 11m	Quantidade de indivíduos = 19 Média = 16,68m	Quantidade de indivíduos = 10 Média = 21,20m
DP da H somente dos indivíduos presentes no dossel	DP = 6,13m	DP = 4,16m	DP = 6,15m
Total de indivíduos	40	78	65

Pôde-se perceber que as médias de alturas estão dentro dos limites informados pelo CONAMA, assim como não apresentam grande dispersão. Ao comparar estes valores

coletados com os resultados apresentados pela imagem classificada, avalia-se que estas identificaram a altura do dossel de modo satisfatório.

#### 4. Conclusão

A Resolução CONAMA de 31 de janeiro de 1994 ao definir os estágios sucessionais da vegetação secundária utiliza-se de vários parâmetros que incluem inclusive as espécies vegetais mais abundantes e características de cada um dos estágios. Esse trabalho adotou apenas um dos parâmetros – altura das árvores do dossel - para apresentar, através de um estudo de caso, as potencialidades do sensoriamento remoto no auxílio a identificação dos estágios sucessionais da vegetação.

Em se tratando do sensor utilizado (LiDAR) pode-se concluir que os MDS e MDT apresentam elevado potencial para a obtenção da altura do dossel, quando se trata do estudo de florestas em encostas.

Neste estudo pôde-se verificar a existência de maior dificuldade na mensuração da altura de árvores em regiões de bordas dos estágios, ou seja, de possível transição entre estágios. Essa dificuldade se acentua quando as áreas se encontram próximas de usos da terra que envolve ou envolveram supressão parcial da vegetação. A utilização conjunta de outros parâmetros pode, possivelmente, diminuir as dúvidas na definição do estágio sucessional, uma vez que os intervalos de altura em cada estágio apresentam interseção entre as classes, ou seja, uma mesma árvore pode apresentar-se em mais de um estágio, se for considerada sua altura isoladamente.

Sugere-se que sejam avaliados outros parâmetros como o diâmetro a altura do peito (DAP) e sua correlação com a altura das árvores. É importante também, um maior número de estudos no que diz respeito a correlação de dados de SR, como os MDS e índices de vegetação, com a vegetação a fim de se obter a avaliação de outros parâmetros da Resolução CONAMA.

#### Referências Bibliográficas

- BRASIL. **Resolução nº 1, de 31 de janeiro de 1994**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Brasília. 02/02/1994. p. 07.567-07.568, 1994.
- Castillo-Núñez, M., Sánchez-Azofeifa, A., Croitoru, A., Rivarde, B., Calvo-Alvarado, J. & Dubayah, R.O. Delineation of secondary succession mechanisms for tropical dry forests using LiDAR. **Remote Sensing of Environment**, 115, p. 2217-2237, 2011.
- Cintra, D. P.; Rego, L.F.G. & Oliveira, R.R. Classifying successional forest stages using Ikonos in Atlantic Forest of Rio de Janeiro. **Revista Geográfica Acadêmica**, v.5, p.21-33, 2011.
- DIAS, B.F. de S. Prefácio. In:.. Rocha, C.D.; Bergallo, H.G.; Sluys M.V. e Alves, M.A S (eds.). **Biologia da Conservação: essências**. São Carlos: RiMa, 2006, p. 11-21.
- IBGE 2010, Área de São Sebastião – acessado em 21/01/2011. <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>
- Jaskierniak, D., Lane, P.N.J., Robinson, A. & Lucieer, A. Extracting LiDAR indices to characterise multilayered Forest structure using mixture distribution functions. **Remote Sensing of Environment**, 115, p.573-585, 2011.
- MMA (2006), **Mapeamento da Cobertura Vegetal do Bioma Mata Atlântica, ano base 2002**. Convênio UFRJ / IESB / UFF. Projeto Integrado para Mapeamento da Cobertura Vegetal do Brasil na escala 1:250.000.
- Rodriguez, A.C.M. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados na análise da Legislação Ambiental no município de São Sebastião (SP)**. Tese, Faculdade de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2005.
- Rosário, L.S.; Cruz, C.B.M.; Temponi, L.M.; Santos, P.R.A.. Análise Orientada a Objeto no Mapeamento dos Estágios Sucessionais da Vegetação na Escala 1:25.000 – um Estudo de Caso da Rebio União, RJ. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14, 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 7119-7126. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em : <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.23.03/doc/7119-7126.pdf>> Acesso em 10 de out. 2014.