

Diogo Caio Rocha Amorim

**QUANTIFICAÇÃO DE BIOMASSA E ALTURA DAS ÁRVORES EM UMA FLORESTA DE  
MATA ATLÂNTICA EM BELO HORIZONTE - MG, UTILIZANDO A TECNOLOGIA LIDAR**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental.  
Orientadora: Profa. Dra. Nadia Bernardi Bonumá

Florianópolis  
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

AMORIM, DIOGO  
QUANTIFICAÇÃO DE BIOMASSA E ALTURA DAS ÁRVORES EM UMA  
FLORESTA DE MATA ATLÂNTICA EM BELO HORIZONTE - MG,  
UTILIZANDO A TECNOLOGIA LIDAR / DIOGO AMORIM ;  
orientadora, NADIA BUNUMA - Florianópolis, SC, 2016.  
14 p.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade  
Federal de Santa Catarina, . Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Ambiental.

Inclui referências

1. Engenharia Ambiental. 2. LIDAR. 3. INVENTARIO  
FLORESTAL. 4. LASER. I. BUNUMA, NADIA. II. Universidade  
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Ambiental. III. Título.

Diogo Caio Rocha Amorim

**QUANTIFICAÇÃO DE BIOMASSA E ALTURA DAS ÁRVORES EM UMA FLORESTA DE MATA ATLÂNTICA EM BELO HORIZONTE - MG, UTILIZANDO A TECNOLOGIA LIDAR**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental.

Florianópolis, 16 de fevereiro de 2016.

---

Prof. Maurício Luiz Sens, Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof.<sup>a</sup> Nadia Bernardi Bonumá, Dr.<sup>a</sup>  
Orientadora  
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

---

Prof.<sup>a</sup> Pedro Luiz Borges Chaffe, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

---

Prof. Fabio Faria Pereira Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

---

Prof. Pablo Heleno Sezerino, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC



Este trabalho é dedicado à minha  
mãe, minha esposa, filha, irmão e  
avô.

## **AGRADECIMENTOS**

A toda equipe da Geoid pelo apoio e compreensão;

Ao ICEMG, pelo apoio, dedicação e mediação das dificuldades;

A UFSC e seu corpo de professores, pelos conhecimentos únicos;

A minha orientadora Nadia Bernardi Bonumá e toda banca examinadora, pelas contribuições primordiais.



## **RESUMO:**

O objetivo deste trabalho foi quantificar o volume de biomassa e apresentar a altura média das árvores dominantes, de uma floresta remanescente de Mata Atlântica em Belo Horizonte - MG, onde foi realizado um mapeamento a Laser viabilizado pela tecnologia LiDAR, o que foi comparado com dados de inventários florestais desta área. Para a aquisição dos dados LiDAR, foi realizado um único sobrevoo no dia 25 de Janeiro de 2015 com um equipamento ALTM3100 da empresa canadense Optech embarcado em uma aeronave SENECA II. Já para o levantamento dos dados de inventário florestal, foi realizada uma campanha nos dias 16, 17, 23 e 24 de janeiro de 2016, utilizando o método de área fixa com dados de DAP(Diâmetro a altura do peito) e altura média das árvores. O cruzamento dos dados entre a campanha de campo e o levantamento utilizando o Sensoriamento Remoto, obtiveram resultados próximos, encontrando diferenças entre 2% e 11% para quantidade em metros cúbicos das áreas analisadas. Para a quantidade total do número de indivíduos foi encontrado uma diferença de 2%. Com o trabalho pode-se perceber que o levantamento por meio do sistema Lidar, mostrou poucas variações em relação ao método de área fixa por inventário florestal e quanto maior a declividade, as análises de dados LiDAR, tendem a sofrer uma perda na quantidade e qualidade de dados levantados.

**Palavras Chave:** Sensoriamento Remoto, LiDAR, Mapeamento, Vegetação, Inventário Florestal.





## **ABSTRACT:**

The objective of this study was to quantify the volume of biomass and present the average height of the dominant trees in a forest remnant of the Atlantic Forest in Belo Horizonte - MG, where we conducted a Laser mapping made possible by LiDAR technology, which was compared with data forest inventories in this area. For the acquisition of LiDAR data, we performed a single overflight on 25 January 2015 with a ALTM3100 equipment of the Canadian company Optech embarked on a SENECA II aircraft. As for the survey of forest inventory data was carried out a campaign in the days 16, 17, 23 and 24 January 2016, using the fixed area method with DAP (diameter at breast height) data and average height of the trees. The crossing of data between the field campaign and the survey using remote sensing, obtained similar results, finding differences between 2% and 11% for quantity in cubic meters of the analyzed areas. To the total amount of the number of individuals with a difference of 2% was found. The work can be seen that the survey through the Lidar system, showed little variation in relation to the fixed area method for forest inventory and the higher the slope, data analysis the LiDAR, suffer a loss in quantity and quality of collected data.

**Keywords:** Remote Sensing, LiDAR, Mapping, Vegetation, Forest Inventory



## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Resultado de alguns trabalhos com dados LiDAR na estimativa de alturas.....   | 02 |
| Figura 2 – Formas de obtenção de informações em sensoriamento remoto: .....  | 05 |
| Figura 3 – Parcelas mínimas para amostragem.....   | 09 |
| Figura 4 - Localização do Parque das Mangabeiras, Belo Horizonte - MG.....   | 10 |
| Figura 5 - Sistema ALTM3100.....   | 11 |
| Figura 6 - Aeronave Seneca II.....   | 12 |
| Figura 7 - Plano de Voo.....   | 12 |
| Figura 8 - Distribuição das Parcelas sobre a ortofoto.....   | 14 |
| Figura 9 - Distribuição das Parcelas sobre o mapa de declividade.....  | 14 |
| Figura 10 - Gráfico comparativo de metros cúbicos dos indivíduos entre LIDAR e Inventário Florestal.....                       | 16 |
| Figura 11 - Declividade do terreno X Altura das árvores - Parcela01.....   | 17 |
| Figura 12 - Declividade do terreno X Altura das árvores - Parcela02.....   | 17 |
| Figura 13 - Declividade do terreno X Altura das árvores - Parcela03.....   | 18 |
| Figura 14 - Declividade do terreno X Altura das árvores - Parcela04.....   | 18 |
| Figura 15 - Detecção e delimitação de copas.....   | 19 |
| Figura 16 - Gráfico comparativo de altura dos indivíduos entre LIDAR e Inventário Florestal.....                               | 19 |
| Figura 17 - Comparativo de dispersão da altura e quantidade dos indivíduos entre LIDAR e Inventário Florestal – Parcela 1..... | 20 |
| Figura 18 - Comparativo de dispersão da altura e quantidade dos indivíduos entre LIDAR e Inventário Florestal – Parcela 2..... | 20 |
| Figura 19 - Comparativo de dispersão da altura e quantidade dos indivíduos entre LIDAR e Inventário Florestal – Parcela 3..... | 21 |
| Figura 20 - Comparativo de dispersão da altura e quantidade dos indivíduos entre LIDAR e Inventário Florestal – Parcela 4..... | 21 |



## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                            | <b>01</b> |
| <b>2 OBJETIVOS .....</b>                             | <b>03</b> |
| 2.1 Objetivo Geral.....                              | 03        |
| 2.2 Objetivo Especifico.....                         | 03        |
| <b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>                  | <b>03</b> |
| 3.1 Levantamento Florestal Quantitativo.....         | 03        |
| 3.2 Sensoriamento Remoto.....                        | 04        |
| 3.3 LiDAR.....                                       | 05        |
| 3.4 A Técnica LiDAR no Sensoriamento Remoto.....     | 06        |
| 3.5 Cálculo de Biomassa e Estimativa de Dossel.....  | 07        |
| <b>4 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>                    | <b>10</b> |
| 4.1 Caracterização da área de estudo.....            | 10        |
| 4.2 Aquisição dos dados LIDAR.....                   | 11        |
| 4.3 Aquisição dos dados de Inventário Florestal..... | 15        |
| <b>5.RESULTADOS.....</b>                             | <b>15</b> |
| <b>6 CONCLUSÕES.....</b>                             | <b>22</b> |
| <b>7 REFERÊNCIAS.....</b>                            | <b>22</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica apresenta um tipo de vegetação contígua, podendo ser identificável em escala regional, portanto considerada um bioma brasileiro. Este bioma contém uma área de aproximadamente 1.110.182 km<sup>2</sup> que representa 13,04 % de todo o território brasileiro (IBGE, 2004).

Um bioma extremamente rico em diversidade e importante para o ecossistema, apresenta uma diversidade de fitofisionomias, que são determinadas pela proximidade da costa marítima, com o relevo e os diversos tipos de solo e regimes pluviométricos (UFV, 2006).

Caracterizada como uma floresta tropical, a Mata Atlântica é representada por uma heterogeneidade em sua estrutura (PHILIPS et al., 2004; QUESADA et al., 2012 apud SATO et al., 2015), apresentando um potencial enorme para sua exploração, como madeiras e um quantitativo de milhões de hectares com florestas plantadas utilizadas entre tantos para a produção de celulose (FILHO et al., 2003).

O conhecimento íntegro das florestas de um país é importante para tomadas de decisão, planejamento territorial e ambiental sendo de suma importância conhecer tais potenciais, mesmo que para fins de conservação, por isso se torna muito utilizado nos dias de hoje o inventário florestal (FILHO et al., 2003).

Um inventário florestal é um método que descreve qualitativa e quantitativa as espécies florestais de uma determinada área, podendo ser realizados com diferentes finalidades, botânica ou ecológica, podendo também possuir quantitativo de biomassa (SOUZA, 2007).

Biomassa é a quantidade em massa de material de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal (MARTINELLI et al, 1994, citado por SANQUETTA et al, 2008) e está relacionada à produtividade primária líquida que um ecossistema tem a capacidade de produzir (ZHAO e RUNNING, 2010). Para a estimativa de dossel, altura das árvores e suas variáveis dendrométricas são necessárias abordar relações entre o diâmetro total das copas das árvores e sua relação de DAP (Diâmetro da Casca à altura do Peito), onde a relação entre a dimensão da copa e o crescimento do diâmetro permite o desenvolvimento de um modelo de crescimento de diâmetro por meio de medições em campo, por meio da relação existente entre dimensão de copa e DAP. (OLIVEIRA, 2011).

Existem entre outras técnicas de campo, possibilidades de quantificar biomassa e altura média de dosséis de uma floresta utilizando levantamentos por Sensoriamento Remoto. Os levantamentos florestais oriundos do sensoriamento remoto têm demonstrado ser uma ferramenta importante para o desenvolvimento da Ciência Florestal e permite ganhos significativos no inventário (SOUZA et al., 2007).

Atribuindo a estes levantamentos podemos concretizar a tecnologia LiDAR (*Light Detection and Ranging*) como uma tecnologia de essencial valor para obtenção dos dados florestais (OLIVEIRA, 2011). O LiDAR se destaca como uma recente tecnologia empregada para a obtenção de medidas diretas

da vegetação, como altura do dossel, o número de indivíduos, o volume e o diâmetro da copa (DUBAYAH et al., 2000; POPESCU et al., 2011 apud SATO et al., 2015).

Segundo Silva (2013) o sensoriamento remoto através da tecnologia LiDAR (Light Detection and Ranging) tem se mostrado uma das alternativas eficientes atualmente para o inventário da biomassa florestal (Hudak et al., (2012), Lim et al., (2004), Næsset et al., (2008). O Serviço Florestal Norte-Americano também vem aplicando a tecnologia LiDAR há alguns anos e obtendo bons resultados. Boa parte dessas experiências são relatadas em artigos publicados por Hudak, et al., (2012) e Reutebuch et al.(2003).

Grande parte das pesquisas literárias referente aos trabalhos executados com tecnologia LiDAR, foram encontradas utilizando florestas plantadas, podendo citar os trabalhos de Silva (2013) e Oliveira(2011). Observamos também uma crescente na evolução das pesquisas com relação ao estudos de florestas não plantadas, citando por exemplo, Sato(2015) e Araújo(2015).

Para Leitold (2014) que utilizou os dados LiDAR para estudar as estruturas de um floresta de Mata Atlantica no Brasil, configura que as florestas tropicais com dossel denso apresentam vários desafios para o sensoriamento remoto por LiDAR, especialmente em áreas de topografia acidentada, onde grande parte das remanescentes da Mata Atlântica se encontra.

A pesquisa realizada por Giongo(2010), mostra o resultado de alguns trabalhos com dados LiDAR para a altura das árvores, conforme apresentado na Figura 1, onde apesar de a maioria dos trabalhos evidenciarem uma tendência de subestimativa das alturas das árvores com o uso da varredura a laser, alguns trabalhos demonstraram superestimativas, associadas ao crescimento em declive.

Figura 1 - Resultado de alguns trabalhos com dados LiDAR na estimativa de alturas.

| Tipologia florestal presente  | Localização da área de estudo              | Densidade de pulsos laser (pnt m <sup>-2</sup> ) | Footprint (m) | Metodologia de obtenção em campo das alturas                          | Resultados obtidos   | Referência            |
|---|--|--|---------------|---|--|-----------------------|
| Florestas com <i>Picea abies</i> L. Karst. e <i>Pinus sylvestris</i> L. | Elverum e Grue, Noruega                    | -  | 0,13 e 0,16   | Medidas em campo, e cálculo da altura média aritmética de cada talhão | Melhores resultados: erro -0,4 m a 1,9 m com um desvio padrão de 1,1-1,6 m | Næsset (1997)         |
| Povoamento equianeos de <i>Pinus sylvestris</i> L.                      | Ålö (50 km a sudeste de Estocolmo), Suécia | -  | 0,75 – 3,00   | Medidas em campo, e cálculo da altura média aritmética do dossel      | Subestimativa variando de 2,1 a 3,7 m                                      | Nilsson (1996)        |
| Talhões de <i>Picea sitchensis</i> (Bong.)                              | Aberfoyle, United Kingdom                  | 3-4  | --            | Relascópio a Laser  | R <sup>2</sup> : 0.89 – Subestimativa variando de 7-8%                     | Suárez et al. (2005)  |
| Plantações de <i>Pinus taeda</i> L.                                     | Mississippi (a) e Texas (b), USA           | 4-5  | 0,11          | Modelos de regressão  | Média: -0,5(a)/+0,2(b) – RMSE: 0,48(a) / 1,18(b)                           | Roberts et al. (2005) |
| Reflorestamento de <i>Pinus</i> spp.                                    | Pinhais, Paraná, Brasil                    | --   | 0,27          | hipsômetro de Haga  | Subestimativas das alturas dos talhões de 0,10 a 8,8% de erro              | Zandoná et al. (2008) |

Fonte: Giongo (2010).



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho foi quantificar o volume de biomassa e a altura média das árvores dominantes de uma floresta remanescente de Mata Atlântica em Belo Horizonte - MG, utilizando mapeamento a laser viabilizado pela tecnologia

### **2.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- a) Quantificar o volume de biomassa utilizando mapeamento aéreo a laser em uma floresta remanescente de Mata Atlântica;
- b) Estimar a altura média das árvores dominantes de uma floresta remanescente de Mata Atlântica;
- c) Comparar resultados obtidos por mapeamento a laser viabilizado pela tecnologia LiDAR com dados de Inventários Florestais desta área.

## **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 Levantamento Florestal Quantitativo**

Os fatores que reforçam esta pesquisa buscam dialogar com diversos e diferentes autores, sobre os temas cruciais para o desenvolvimento das ciências ambientais, através do geoprocessamento e do sensoriamento remoto.

Como destaca Andrade (2013) “o setor florestal brasileiro se encontra em plena expansão, apresentando grande competitividade no mercado mundial de produtos florestais. Assim, cada vez mais o domínio de informações precisas acerca dos povoamentos florestais vem se tornando um diferencial para os empreendimentos florestais”. Dessa forma, estudos sobre sensoriamento remoto e geoprocessamento como ferramentas para inventário florestal visando à redução de custo é de extremo valor. Apesar de já existir a certo tempo no mercado mundial, técnicas e tecnologias como esta, ficaram com o seu uso retraído por muitos anos.

Para Andrade (2013) “As técnicas convencionais de inventário florestal possibilitam apenas a adoção valores médios para a tomada de decisão, enquanto que através das técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento é possível mapear variabilidade existente no povoamento”.

### **3.2 Sensoriamento Remoto**

Como retrata Junior (2001) é preciso tornar o acesso e a manipulação de dados geográficos mais simples e mais intuitivos para as pessoas, inclusive para reduzir um pouco a enorme necessidade de formação de pessoal que se observa.

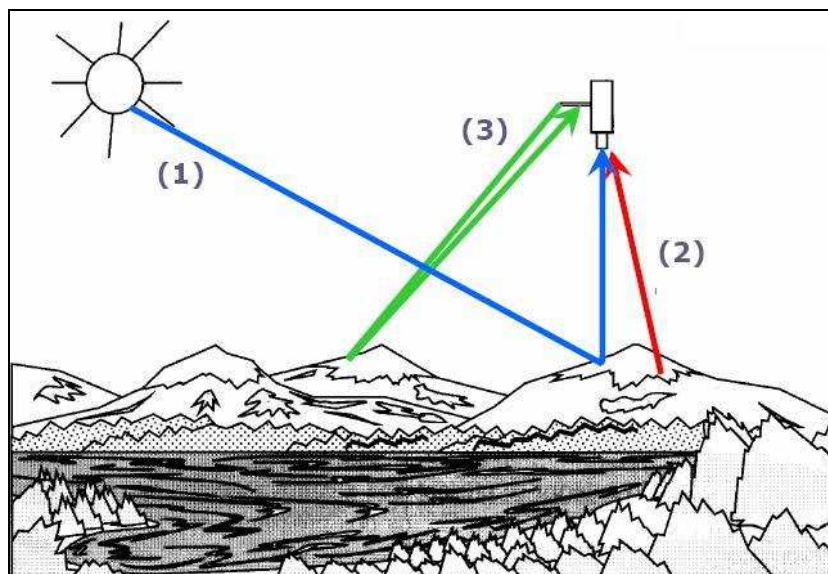
Para Ferreira (2008) a análise integrada de dados de sensoriamento remoto e outras informações temáticas têm possibilitado, entre outros, melhor representação, à escala (e unidades) da paisagem, das distribuições e variações fitofisionômicas. As tecnologias que envolvem o sensoriamento remoto e a obtenção de dados sem o seu contato direto, refletem diretamente na economia de tempo.

A definição clássica do termo sensoriamento remoto (SR) para Novo (1989) “refere-se a um conjunto de técnicas destinado à obtenção de informação sobre objetos, sem que haja contato físico com eles”.

Para a aquisição de dados em sensoriamento remoto, Chuvieco (2007) afirma que são necessários três elementos básicos, i) a fonte de energia radiante (solar, por exemplo), o objeto observado (alvo na superfície) e o sensor.

Existem três maneiras de se adquirir informações de forma remota: i) por reflexão da radiação solar, ii) por emissão de radiação pelo alvo, ou iii) por emissão-reflexão (sensor emite fluxo energético e capta posteriormente sua reflexão sobre a superfície terrestre) (Figura 2). “Em qualquer uma das três situações, a radiação eletromagnética é o meio pelo qual a informação é transferida do objeto observado ao sensor”. Chuvieco (2007).

Figura 2 - Formas de obtenção de informações em sensoriamento remoto: (1) reflexão, (2) emissão, (3) emissão-reflexão.



Fonte: Chuvieco (2007).

### 3.3 LiDAR

Para os levantamentos de sensoriamento remoto, podemos concretizar a tecnologia LIDAR como essencial valor para obtenção dos dados florestais. Como salienta Oliveira (2011), “sua utilização em aplicações florestais é registrada desde os anos 1980 e apresenta um avanço significativo na realização destes estudos”.

Para Maciel (2011) o mapeamento para a coleta de dados espaciais tem passado por muitos avanços de métodos e ferramentas, objetivando minimizar o tempo de aquisição e o custo, além de potencializar a precisão dos resultados em comparação com os métodos convencionais. Devido à demanda do mercado em obter cada vez mais produtos confiáveis e de forma rápida, surgiu a necessidade de pesquisas automatizadas para estes fins. Nesse contexto, desenvolveu-se a tecnologia LIDAR na área da cartografia, complementando as possíveis deficiências dos métodos tradicionais (fotogramétricos, apoio terrestre, entre outros), e em algumas vezes, ocorrendo a completa substituição destes.

Os levantamentos que envolvem modelagem vegetal e estimativa de dosséis passaram por diversas evoluções, com comportamentos e resultados diferenciados, por esse motivo Neves (2010) aborda a extrema importância da união entre sensoriamento remoto para levantamentos florestais, “...os processos de mapeamento aéreo e inventário florestal/levantamento fitossociológico, permitem uma análise crítica, precisa e detalhada da floresta a ser estudada, pois com a análise visual de fotografias

aéreas e/ou imagens de satélite viabilizam-se soluções de complexos problemas ambientais, o que os torna imprescindível para a formação de uma base de dados”.

Para tais análises podemos abordar diferentes técnicas de sensoriamento remoto e processamento digital de imagens, sempre associadas a bandas espectrais de princípio eletromagnético. Para Panzoni (2002) a aplicação dessas técnicas é viabilizada através do cumprimento de diversas etapas que incluem a interação em si, caracterizada principalmente pelo fenômeno de reflexão da radiação, a coleta de dados e seu registro através de um sensor e a análise desses dados com o objetivo de extrair as informações pretendidas de um dado objeto.

O uso das tecnologias provenientes do sensoriamento remoto demonstra ser efetivas na análise da cobertura vegetal, permitem acompanhar as contínuas mudanças no crescimento, acúmulo de biomassa e carbono ocorrentes na dinâmica de um ecossistema florestal natural Hentz (2014).

### **3.4 A TÉCNICA LIDAR NO SENSORIAMENTO REMOTO**

A União do Sensoriamento Remoto com o sistema LiDAR possibilita obter modelos digitais de terreno (MDT), curvas de Nível, modelos digitais de Elevação (MDE), modelos digitais de altura das árvores (MDAA), Cálculos de Biomassa, entre outros.

“No contexto da utilização em sistemas de informações geográficas, por modelo digital de terreno designa-se qualquer conjunto de dados em suporte numérico que, para uma dada zona, permita associar a qualquer ponto definido sobre o plano cartográfico um valor correspondente à sua altitude”. Matos (2001).

Para Schafer e Loch (2005) através dos produtos oriundos do levantamento Laser scanner, tem-se a possibilidade de gerar mapas tridimensionais acurados e atualizados para otimização de projetos e processos de construção. Os MDT's de alta resolução proveem dados do terreno que podem servir como suporte a análise de características de interesse em diversos projetos, como por exemplo, dos projetos rodoviários, atribuindo a eles informações diversas como declividade, aspectos topográficos, permitindo captar informações detalhadas e tridimensionais de copas e troncos de árvores mapeadas e algumas características da forma do relevo.

Um modelo digital de terreno (MDT) também conhecido como Digital Terrain Model - DTM representa a variação do relevo em uma região da superfície terrestre. Centeno (2007) afirma que a

representação mais comum de um MDT está associada á altimetria, embora possa representar outras grandezas que variam continuamente no espaço, por exemplo, unidades geológicas ou teores minerais.

Para Castro (2005) o modelo digital de altura das árvores parte do cálculo entre a diferença dos modelos de Superfície (contem altimetria de todos os objetos acima do solo) e o modelo digital de terreno (contem altimetria somente do terreno, ou seja, o seu solo) e assim se estipula o MDAA, que muito é aplicado em estimativas de dosséis e em inventários florestais.

Oliveira (2011) realizou um estudo onde abordou comparações de um inventário florestal com dados LiDAR para uma mesma floresta de eucaliptos, localizada no Sul do estado da Bahia. Em uma de suas conclusões ele define, que, apesar de algumas subestimações entre as duas metodologias, é possível obter bons resultados na determinação do volume de todo o talhão utilizando dados LiDAR.

### 3.5 CÁLCULO DE BIOMASSA E ESTIMATIVA DE DOSSEL

“Biomassa é a quantidade, em massa, de material de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal” Sanquetta (2005) e está relacionada à produtividade primária líquida que um ecossistema tem a capacidade de produzir como afirmam Zhao e Running (2010). “O termo biomassa florestal significa que toda a biomassa existente na floresta ou apenas na sua fração arbórea, e, em se tratando de biomassa de origem vegetal, vem sendo empregado o termo fitomassa” Sanquetta (2002).

O Serviço Florestal Brasileiro (2013) define a estimativa de biomassa de todos os biomas brasileiros por compartimentos em milhões de toneladas, sugerindo então que o bioma da mata atlântica apresente um total de 2.914 milhões de metros cúbicos de biomassa.

Para a estimativa de dossel, altura das árvores e suas variáveis dendrométricas são necessárias abordar relações entre o diâmetro total das copas das árvores e sua relação de DAP (Diâmetro da Casca à altura do Peito), onde Oliveira (2011) e Nutto (2001), definem que a relação entre a dimensão da copa e o crescimento do diâmetro permitiu o desenvolvimento de um modelo de crescimento de diâmetro por meio de medições em campo, através da existente relação entre dimensão de copa e DAP.

Segundo Ribeiro (2011) o diâmetro ou a circunferência são tomados à altura do peito, convencionalmente como sendo a 1,30 m a partir do solo, simbolizados por DAP (diâmetro à altura do peito) e CAP (circunferência à altura do peito). A medida pode ser feita com uma fita métrica diretamente no caule, todavia, na natureza encontraremos muitas árvores irregulares. Para efeitos práticos ele define as seguintes equações para DAP (1) e CAP (2)

$$\mathbf{DAP = CAP/\pi} \quad (1)$$

$$\mathbf{CAP = DAP.\pi} \quad (2)$$

Os trabalhos que envolvem os cálculos de biomassa de uma floresta seja plantada ou natural, são bastante estruturais em níveis de resultantes e de probabilidade de ocorrência, uma vez que na maioria dos estudos nestes levantamentos são realizados de modo amostral, como é definido no trabalho de Mello (2011) , onde as equações para estimativa da biomassa dos componentes das árvores são ajustadas a partir de dados coletados com a amostragem destrutiva de 10 árvores em determinados sítios florestais.

Como os levantamentos são efetivados de modo amostral, resta o esclarecimento de desvio padrão e do erro de equações utilizadas em modelos matemáticos para cada estudo realizado.

A estimativa dos modelos de biomassa e altura de dossel, vem de encontro a realização e proposição de dados para realização de um manejo sustentável em florestas deste porte. Para Higuchi (2008) o manejo florestal está associado ao consumo sustentável dos recursos florestais existentes, para atender à demandas da sociedade onde a biomassa está relacionada com os estoques de macro e micronutrientes da vegetação, que são obtidos pelo produto da massa pelas concentrações de cada mineral.

Uma conclusão bem interessante é a de Sanches (2014) que se refere ao armazenamento de energia na biomassa, que pode constituir um componente significativo do saldo de radiação em ecossistemas florestais durante períodos específicos.

As medições de biomassa envolvem uma série de variáveis, que podem por muitas vezes descaracterizar ou até mesmo mascarar o resultado final de uma determinada floresta. Para Iverson et al (1994) apud Martins (2009), entre as variáveis não heterogêneas destacam a influência do uso em estudos ecológicos de parcelas pequenas, selecionadas no intuito de captar indivíduos com grandes diâmetros já que a biomassa aumenta geometricamente com o diâmetro. Quanto às parcelas de inventário florestal, os mesmos autores destacam diversas desvantagens, por exemplo, o diâmetro mínimo variável e o fato de que poucos países com florestas tropicais as possuam.

Como afirma Filho (2003) em síntese, os trabalhos relacionados a diversos tamanhos de parcelas tem confirmado a maior eficiência das parcelas pequenas. De um modo geral os coeficientes de variação decrescem como função inversa do tamanho da parcela, e em consequência o número de parcelas necessárias para o mesmo grau de precisão é mais elevado quanto menores sejam as parcelas. Entretanto, o número de árvores mensuradas, sempre tem sido menor que em parcelas maiores, o que vem corroborar a maior eficiência das primeiras. Também é especificado no trabalho de Filho (2003), uma proposição de parcelas mínimas para determinadas amostragens já selecionadas conforme observamos na Figura 3.

Figura 3 - Parcelas mínimas para amostragem

| <b>Dimensões das Parcelas</b> | <b>Média Vol. Cil./ Ha</b> | <b>Desvio Padrão</b> | <b>Coefficiente de Variação %</b> | <b>Números de Parcelas necessárias *</b> |
|-------------------------------|----------------------------|----------------------|-----------------------------------|--|
| 10x10 m                       | 376,00                     | 108,91               | 28,97                             | 11                                       |
| 20x10 m                       | 375,86                     | 91,81                | 24,43                             | 8  |
| 20x20 m                       | 372,88                     | 83,58                | 22,41                             | 6  |
| 20x30 m                       | 382,45                     | 83,49                | 21,83                             | 6  |

Fonte: Filho (2003).

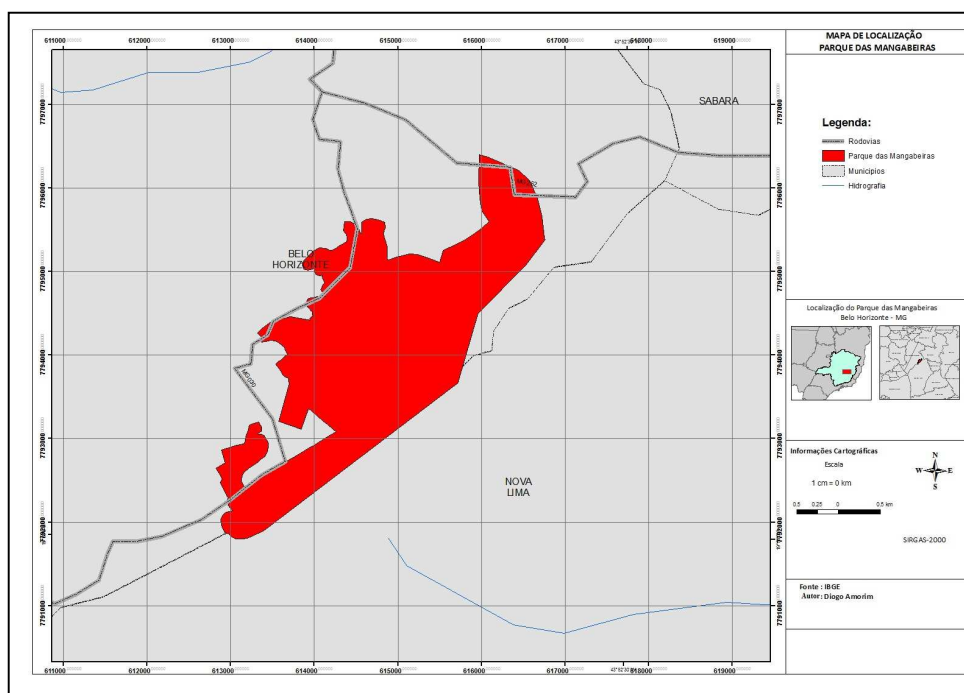
Para Nilsson, (1996 apud em Giongo, et al 2010), com a utilização dos levantamentos por laser aéreo transportado visa que a estimativa da altura da cobertura florestal pode ser obtida diretamente a partir do processamento destes dados. A diferenciação entre os pulsos do primeiro e ultimo retorno podem definir diferentes modelos digitais, tanto de superfícies como de terreno e a diferença entre eles ordena a altura média do dossel. Em determinadas florestas, pode se aplicar classificações em sub-bosques e estender a mesma metodologia para esta porção particular da floresta.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização da área de estudo

A área onde foi desenvolvido este estudo é um parque municipal que pertence à Prefeitura de Belo Horizonte – MG, que recebe o nome de Parque das Mangabeiras, conforme mostra a Figura 4. Este Parque foi escolhido devido a sua diversidade arbórea e geomorfológica. Ele está localizado nos limites dos municípios de Belo Horizonte- MG e Nova Lima – MG, suas coordenadas geográficas na entrada do parque são: 19°56'37" Latitude e 43°54'55" Longitude. Sua localização é favorecida na Serra do Curral, que pertence ao complexo estrutural de serras, denominado Serra do Espinhaço.

Figura 4 - Localização do Parque das Mangabeiras, Belo Horizonte - MG



Fonte: Próprio autor.

O parque apresenta uma área de aproximadamente 2,4 milhões de m<sup>2</sup>, com um total de 59 nascentes e uma altitude que varia de 1.000 a 1.300 metros (PBH, 2015).

No Parque das Mangabeiras, o contato com a vegetação nativa é um dos principais atrativos, sendo representada por áreas de Cerrado e de Mata Atlântica. O Cerrado ocupa as áreas de maior altitude do parque, onde os solos são mais rasos e com baixa disponibilidade de nutrientes. Árvores como o barbatimão, a candeia, a caviúna, a guabiroba, o murici e o pau-santo são comuns nas áreas de Cerrado.



A Mata Atlântica está presente nos fundos de vale e encostas adjacentes, onde os solos são mais profundos e ricos em nutrientes. Dentre as árvores típicas deste ambiente podem ser citadas a copaíba, o guanandi o jacarandá, o jequitibá, o pau-jacaré e a quaresmeira (PBH, 2015).

#### 4.2 Aquisição dos dados LiDAR

Para o desenvolvimento deste estudo foi realizado um mapeamento de 2,4 km<sup>2</sup> em uma floresta remanescente de mata atlântica localizada no Parque das Mangabeiras (Figura 4).

Para a aquisição dos dados LiDAR, foi realizado um único sobrevoo no dia 25 de Janeiro de 2015 com um equipamento ALTM3100 da empresa canadense Optech embarcado em uma aeronave SENECA II, observados nas Figuras 5 e 6 respectivamente. Os parâmetros do sobrevoo estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Relação de variáveis e suas especificações utilizadas para a realização do sobrevoo

| Variáveis                    | Especificação                             |
|------------------------------|---|
| Altura do Voo                | 1000m                                     |
| Acurácia horizontal          | Melhor que 50 cm (escala 1:1.000 PEC "A") |
| Acurácia vertical            | Melhor que 15 cm                          |
| Frequência de escaneamento   | 70 Hz                                     |
| Ângulo de escaneamento (FOV) | 24°                                       |
| Retornos possíveis           | Até 4 medições para cada pulso            |

Figura 5 -

Sistema ALTM3100



Fonte: Geoid LDТА.

Figura 6 –

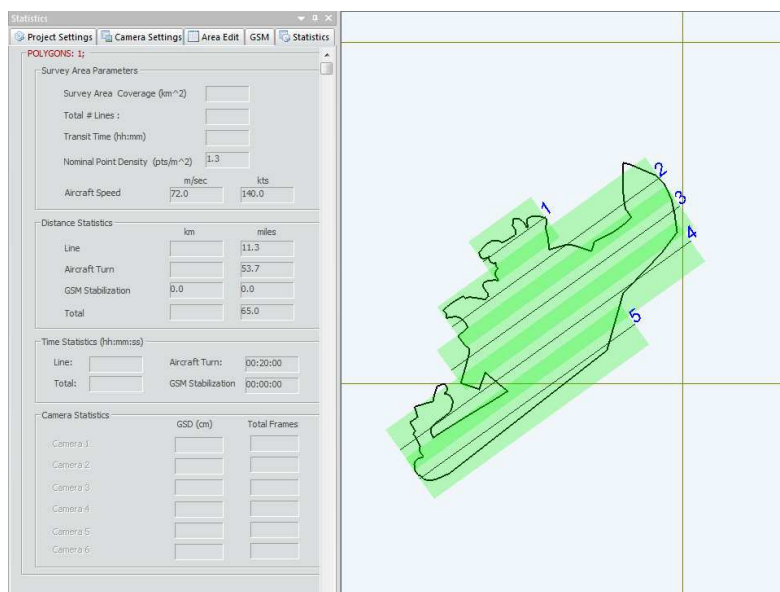
Aeronave Seneca II



Fonte: Geoid LDTA.

O voo seguiu as orientações definidas em escritório e conforme o plano de voo estabelecido, apresentado aqui na Figura 7, sendo executado em Cinco (05) linhas de voo na direção Sudoeste para Nordeste, onde acompanharam a disposição do polígono mapeado. Cada linha de voo compreendeu uma faixa de 700m de largura, variando a extensão de 1000m a 3500m e uma sobreposição entre as linhas de 30%.

Figura 7 – Plano de Voo



Fonte: Geoid LDTA.

Após a realização da etapa de voo, os dados coletados foram gravados em HD externo e processados em escritório. Foram feitas a separação dos dados coletados em dados brutos com arquivos de imagem, e dados brutos com arquivos da nuvem de pontos.

As imagens somaram um total de 54 ortofotos, para a integral cobertura do parque analisado. A resolução espacial real de cada imagem foi determinada em 20 cm. De posse destes dados, foi realizado o processo de ortofotificação e georreferenciamento das ortofotos. Este processo conta com a elaboração de modelos digitais de elevação e adequação de processos de orto-imagem, trabalhados nos Softwares Terra Photo e Terra Scan da empresa finlandesa Terrasolid.

Em um pós-processamento, os dados do mapeamento a laser foram tratados e então diferenciados lentre solo e vegetação. Para essa classificação foram utilizados algoritmos computacionais que trabalham a nuvem de pontos, identificando o número do retorno, onde se realizou comparações entre as alturas de pontos adjacentes e dentro de uma rede, trabalhando com os conceitos de declividade, segmentação e superfície.

Como define Pacheco(2011), cada ponto coletado no levantamento por LiDAR e trabalhado no software Tscan é projetado na grade regular, preenchendo-a com a altimetria (H), conforme equação (03) :

$$\begin{aligned} lin &= (N_{max}-N)/Resolução \\ col &= (E-E_{min})/Resolução \end{aligned} \quad (3)$$

onde:

lin = Linha da grade;

col = Coluna da grade;

Nmax = Coordenada do extremo Norte;

Emin = Coordenada Leste mínima;

Resolução = resolução espacial da grade.

A partir destas informações, o software começa a gerar uma modelo digital em que a área mapeada seja preenchida com células de pontos. A determinação e classificação dos pontos em vegetação e os demais pontos coletados é definida por Ferreira (2014) que seja  $D = \{ P_i | i \in [1,n] \}$ , toda nuvem de pontos com n pontos, e  $P_c \in D$ , é o ponto cuja vizinhança será determinada. Primeiramente, um conjunto de pontos  $N_k$ , k-mais próximos de  $P_c$  é determinado. Então, a maior distancia  $D_{max}$  entre  $P_c$  e  $P_i$  em  $N_k$  pode ser determinada entre seus K vizinhos, melhor apresentado na equação (04).

$$D_{\max} = \arg \max (\text{distância } (P_i, P_c)), i=1,2,\dots,K \quad (04)$$

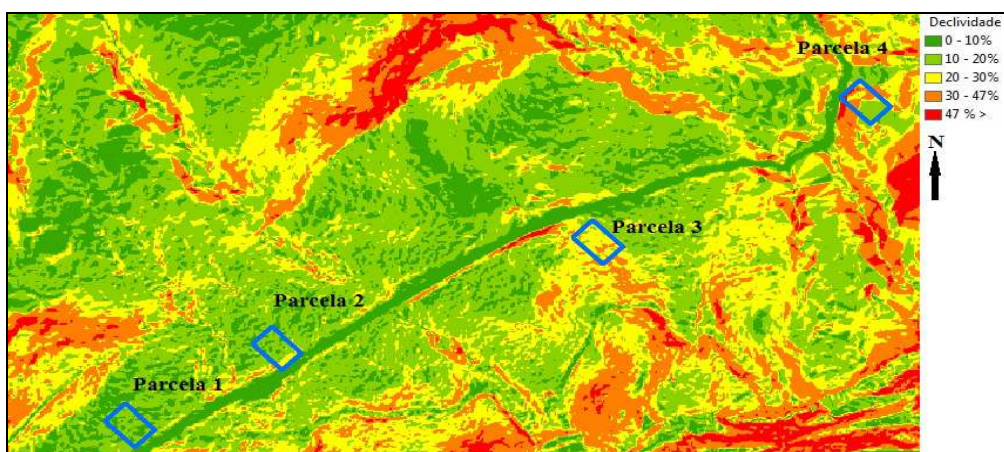
De posse destes dados, foram definidas quatro parcelas de estudo contando com diferentes eixos de declividade no terreno. A escolha das parcelas se deu ao grau de declividade que o terreno apresentava, e obteve-se a preocupação em escolher parcelas que tinham entre: 0% a 10%, 10% a 20%, 30% a 47% e superior a 47%, e que apresentavam esses valores em maior proporção dentro de cada parcela. Cada parcela contou com uma medida de 10 metros de largura por 20 metros de comprimento, conforme descrito nas Figuras 8 e 9

Figura 8 – Distribuição das Parcelas sobre a ortofoto.



Fonte: Próprio autor.

Figura 9 - Distribuição das Parcelas sobre o mapa de declividade.



Fonte: Próprio autor.

### 4.3 Aquisição dos dados de Inventário Florestal

Para a aquisição dos dados do Inventário Florestal foram aproveitadas as mesmas parcelas do levantamento aéreo. O método utilizado para este inventário foi o de Área Fixa que permite levantar todas as espécies no interior da parcela de forma integral, utilizando dados como DAP (Diâmetro da Casca a Altura do Peito) a qual foi calculada utilizando a equação do DAP proposta por Ribeiro (2011) e também altura das árvores Cesaro (1994), obtida através do aparelho Hipsômetro a laser L5 da empresa Suéca Haglöf Sweden, utilizando um transponder a laser para dimensionar a altura das árvores selecionadas. (haglofsweden,2016).

Os dados foram coletados nos dias 16, 17, 23 e 24 de janeiro de 2016, totalizando 28 horas em campo e contou com o apoio de dois técnicos para tal execução.

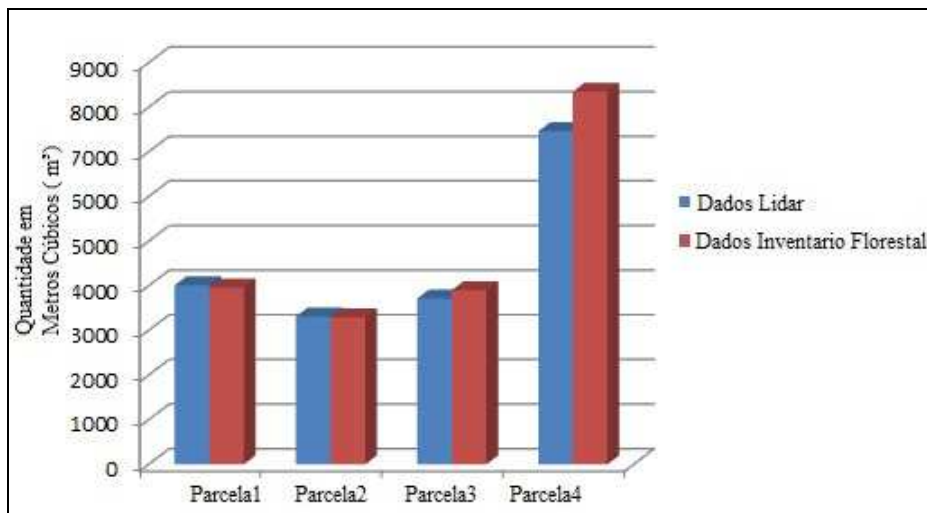
Foram utilizados GPS de navegação e Diferencial, além de trenas, pranchetas e um Hipsômetro a laser L5 da empresa Suéca Haglöf Sweden que serviu para medir a altura das árvores.

## 5. RESULTADOS

O cruzamento dos dados entre a campanha de campo e o levantamento utilizando o Sensoriamento Remoto, obtiveram resultados próximos. Para representar o diâmetro e a cubagem dos indivíduos amostrados, foi gerado um gráfico comparativo entre os mesmos (Figura 10), onde as parcelas apresentam algumas variações entre o Inventário Florestal e os dados Lidar.

Na figura 5 observamos a diferença de cubagem entre os dois métodos. Para as parcelas 1 e 2 foi encontrado uma diferença de 2%, já na parcela 3 essa diferença aumenta para 4% e 11% para parcela 04.

Figura 10 - Gráfico comparativo de metros cúbicos dos indivíduos entre LIDAR e Inventário Florestal.

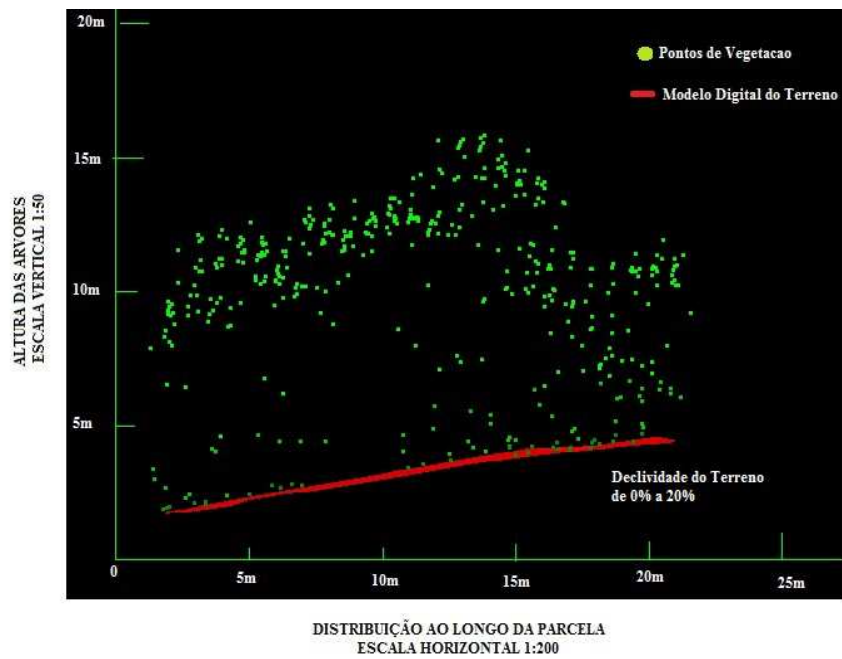


Fonte: Próprio autor.

Nas parcelas 1 a 3 foram encontrados entre 3 e 4 mil metros cúbicos de biomassa, na parcela 4 o número de biomassa encontrado variou entre 8 e 9 mil metros cúbicos, resultante da análise dos dois métodos. Realizando algumas comparações com outros biomas, temos que para uma área de 0,02 ha (parcela de 10x20) segundo o Ministério do Meio Ambiente (Ministério do Meio Ambiente,2016) o Cerrado possui cerca de 5.71 mil metros cúbicos de biomassa, já para a floresta Amazônica seria cerca de 10.05 mil metros cúbicos. Oliveira (2014) realizou um estudo de cálculo de volume em uma floresta de Eucalipto em quatro (04) parcelas e obteve em média um resultado de 7,42 mil metros cúbicos. Portanto os valores encontrados para as medições tanto pelo método LIDAR, quanto pelos levantamentos de campo, se apresentaram de forma normal sem grandes discrepâncias, quando comparados com valores de outras florestas.

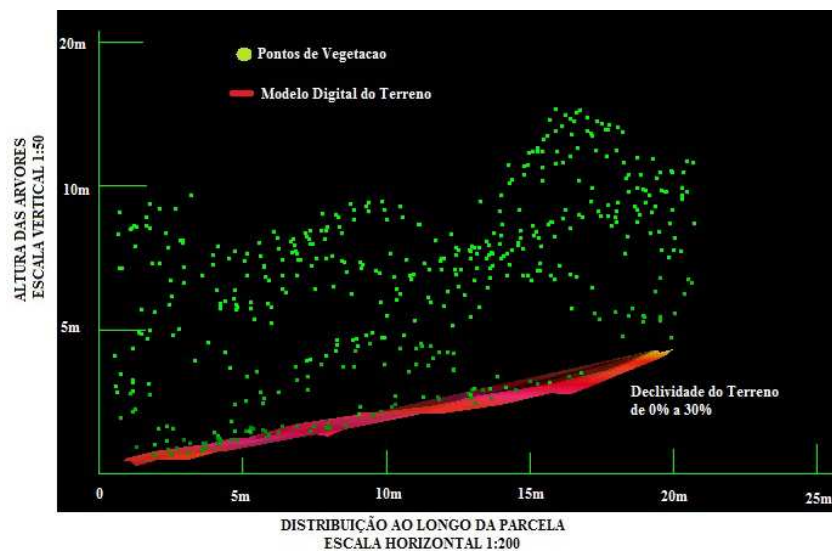
Nas Figuras 11,12,13 e 14 é apresentado a relação da declividade do terreno com a altura das arvores.

Figura 11 – Declividade do terreno X Altura das árvores - Parcela01.



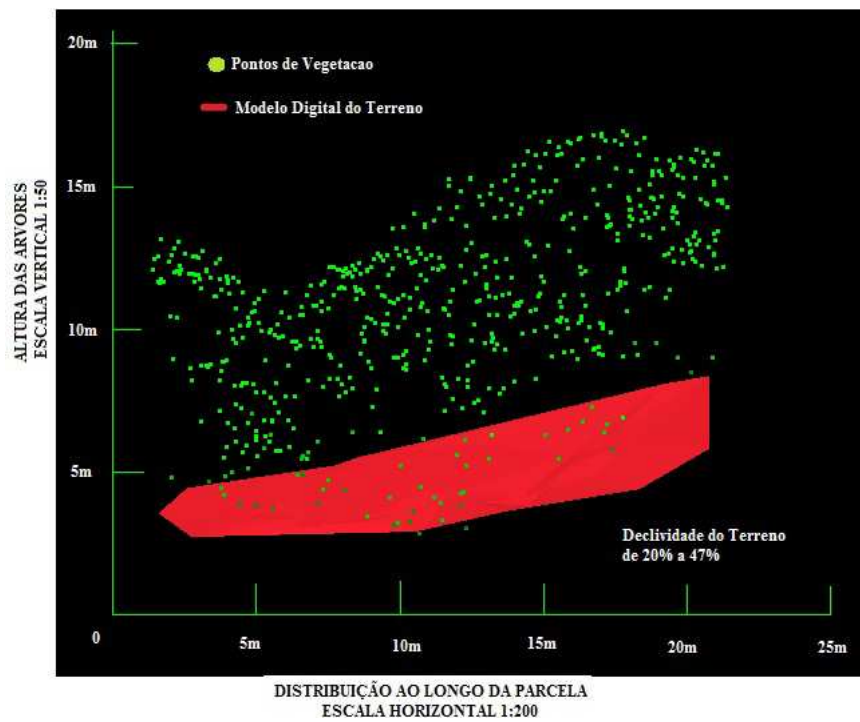
Fonte: Próprio autor.

Figura 12 – Declividade do terreno X Altura das árvores - Parcela02



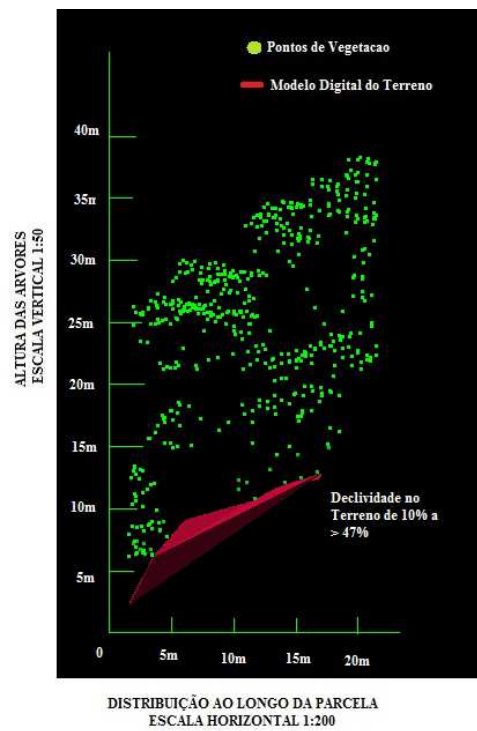
Fonte: Próprio autor.

Figura 13 – Declividade do terreno X Altura das árvores - Parcela03



Fonte: Próprio autor.

Figura 14 – Declividade do terreno X Altura das árvores - Parcela04

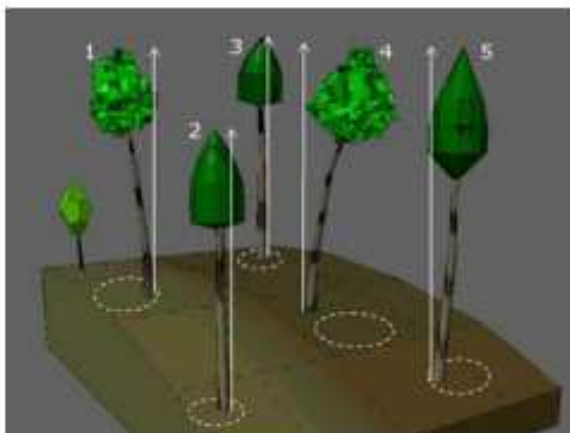


Fonte: Próprio autor.



A individualização dos indivíduos, seguiu o método do Modelo Digital de Altura das Árvores (MDAA), definido por Ribas (2011) como a diferença entre os Modelos digitais de Terreno e o Modelo Digital de superfície. Através da identificação de cada pulso no disparo do laser é possível traçar uma cadeia de retornos em copas das árvores, conforme representado na Figura 15.

Figura 15 – Detecção e delimitação de copas

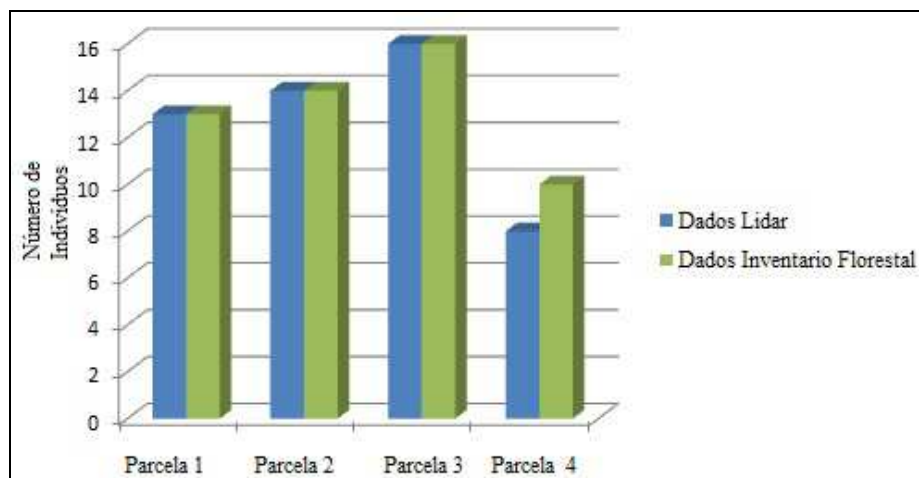


Fonte: Ribas (2011 – apud Mississippi State University (2010)

Para o número de indivíduos, também foi gerado um outro gráfico (Figura 16) que apresenta o total de indivíduos levantados em campo e também de modo aéreo.

Os indivíduos das parcelas 1 a 3 permaneceram a mesma quantidade levantada. Já na parcela 4 houve uma diferença de 2%, sendo superior o número de indivíduos com os dados levantados pelo Inventário Florestal.

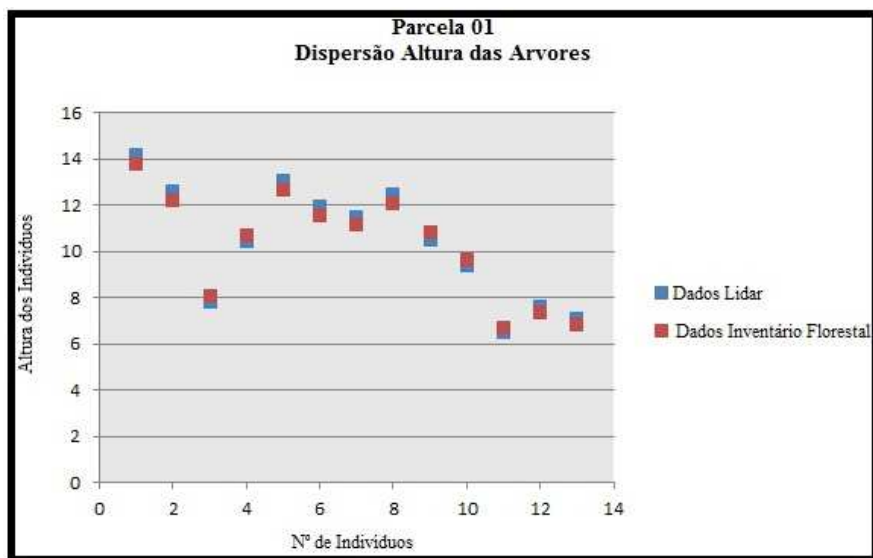
Figura 16 - Gráfico comparativo de altura dos indivíduos entre LIDAR e Inventário Florestal.



Fonte: Próprio autor.

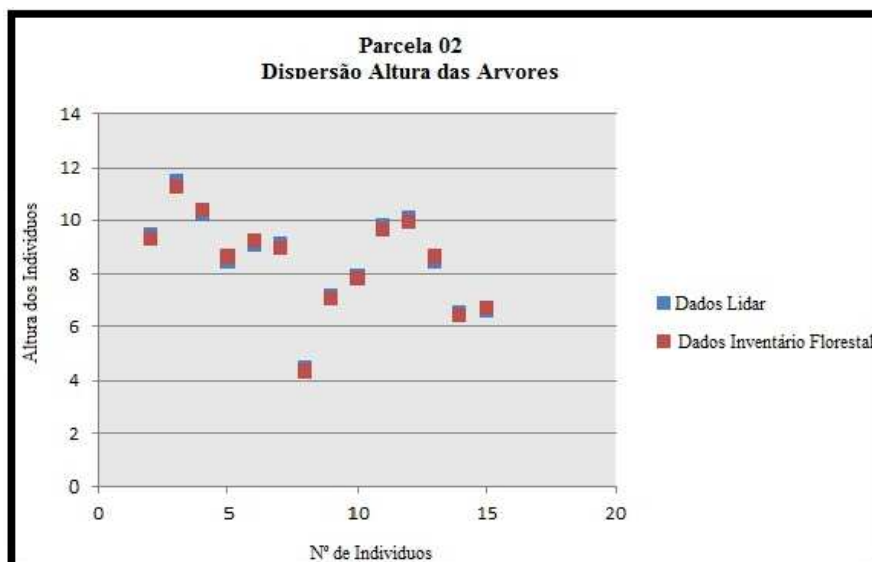
Para melhor representação dos resultados dos levantamentos, as Figuras 17,18,19 e 20 mostram um comparativo entre a altura e a quantidade dos indivíduos obtidos utilizando LiDAR e no Inventário Florestal.

Figura 17 - Comparativo de dispersão da altura e quantidade dos indivíduos entre LIDAR e Inventário Florestal – Parcela 1.



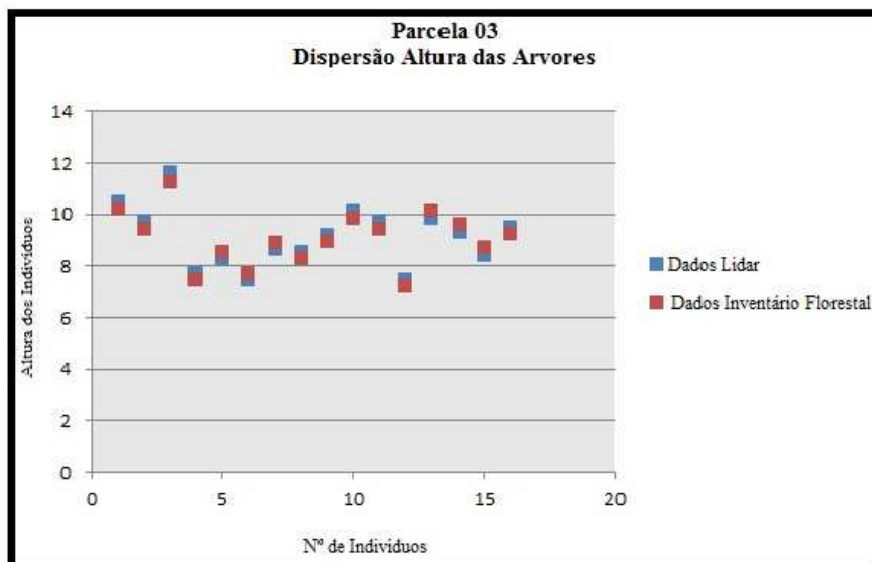
Fonte: Próprio autor.

Figura 18 - Comparativo de dispersão da altura e quantidade dos indivíduos entre LIDAR e Inventário Florestal – Parcela 2.



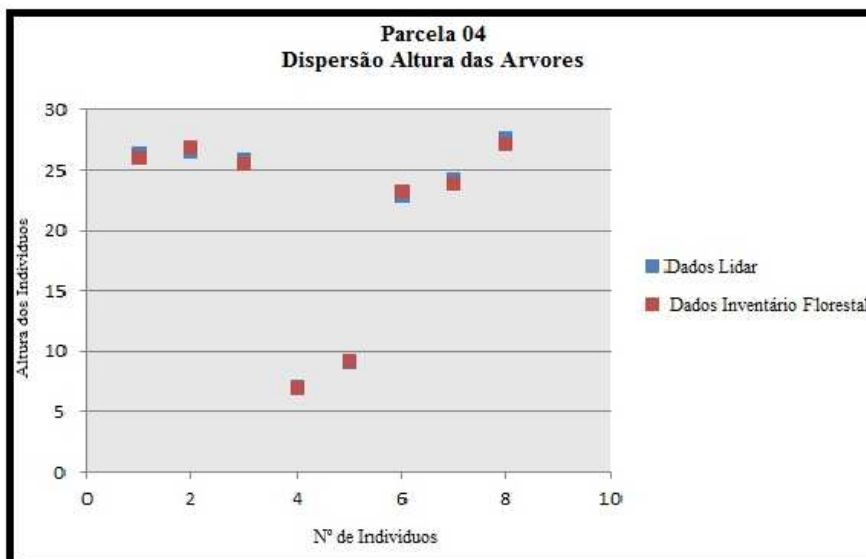
Fonte: Próprio autor.

Figura 19 - Comparativo de dispersão da altura e quantidade dos indivíduos entre LIDAR e Inventário Florestal – Parcela 3.



Fonte: Próprio autor.

Figura 20 - Comparativo de dispersão da altura e quantidade dos indivíduos entre LIDAR e Inventário Florestal – Parcela 4.



Fonte: Próprio autor.

Os resultados encontrados, foram tidos como satisfatórios, pois não apresentam grandes discrepâncias. Tanto para o Inventário Florestal de área fixa e pelo levantamento Lidar, obtiveram porcentagens de distanciamento dos valores encontrados bem próximos uns dos outros.

As parcelas 3 e 4 foram tidas como incomuns, pois mesmo sendo consideradas satisfatórias, apresentaram valores mais desiguais que as parcelas 1 e 2. Este fato logo foi atribuído a escolha das mesmas, que apresentaram uma maior declividade, variando propositalmente de 20% a 47% ou mais de declividade.

## 6. CONCLUSÕES

- O levantamento por meio do sistema Lidar, mostrou poucas variações em relação ao método de área fixa por inventário florestal;
- As variações temporais entre os levantamentos de campo e aéreo, com aproximadamente 1 ano de diferença, pouco influenciam no resultado dos mesmos;
- Quanto maior a declividade, as análises de dados Lidar, tendem a sofrer uma perda na quantidade e qualidade de dados levantados.

## 7. REFERÊNCIAS:

ANDRADE, M. C. Rocha. Proposta de redução de custos em inventários florestais por meio do uso de técnicas de Geoprocessamento. INPE –São José dos Campos, SP – Divisão de Sensoriamento Remoto, p2-3. 2013.

ARAÚJO, L. Spinelli; SANTOS, M. Nara; PINAGÉ, E. Rangel; KELLER, Michael; MARCOS, Longo. Análise multitemporal de dados LiDAR na caracterização da floresta secundária na região da FLONA Tapajós. Joao Pessoa – PB, INPE, 2015.

CAMARGOS, L. Araújo; SILVA, C. Coutinho; MORAES, M. Francisco; PRUDENTE, C. Nobre. Aplicação do Modelo Digital de Terreno (MDT) Advanced Elevation Series (AES) em parte do município de Formosa, GO. INPE, p3 – 2015.

CASTRO, F. Cunha; CENTENO, T. Mezzadri. Segmentação de imagens geradas por perfilamento a laser para delimitação de árvores individuais em uma área de reflorestamento de eucaliptos. CEFET – INPE, p 739 – 2005.

CENTENO, Jorge e MITISHITA, Edson. Laser Scanner aerotransportado no estudo de áreas urbanas: A experiência da UFPR. SBSR, INPE, 2007.

- CELES, C. H. Souza; SHIMABUKURO, Y. Edemir; CAMPOS, M. A. Assis; HIGUCHI, Niro. Estimativa de biomassa em uma floresta tropical no município de Maués - AM, Brasil. INPA – INPE, p 2827 – 2013.
- CESARO, A.; ENGEL, O. A.; FINGER, C. O. G.; SCHNEIDER, P. R. Comparação dos métodos de amostragem de área fixa, relascopia e de seis árvores, quanto à eficiência, no inventário florestal de um povoamento de Pinus sp. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 97-108, 1994.
- CHUVIECO, E; KASISCHKE, S. Eric. Remote sensing information for fire management and fire effects assessment. *Journal of Geophysical Research*. 2007.
- CRHISTOFOLETTI, Antônio. Modelagem de Sistemas Ambientais. Ed. Edgard Blucher, SP. 1999.
- FELGUEIRAS, Carlos; CÂMARA, Gilberto. Modelagem Numérica de Terreno. INPE – 2008.
- FERREIRA, F. Renata. Segmentação do espaço urbano por meio da tecnologia LIDAR aerotransportado. São Paulo – SP – USP. 2014
- FERREIRA, L. Guimarães; CLEMENTINO, Nilson; FERREIRA, M. Eduardo. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. LPIG – UFGO. p 3987 – 388. 2008.
- FIGUEIREDO, Divino. Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto. Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Brasília - DF, 2005.
- FILHO, A. D. de Moraes; BRAVO, C. Vera; ROQUE, R. A. Moya; ANDRADE, W. Fernandes. Utilização de métodos estatístico em inventário floresta. USP, SP – 2003.
- FILHO, C. A. Zocolotti; CENTENO, J. A. Silva. Análise da qualidade de informações altimétricas geradas pelo sistema Aster. UFPR, p7 – 2004.
- GIONGO, Marcos; KOEHLER, H. Soares; MACHADO, S. Amaral; KIRCHNER, F. Felipe; MARCO, Marchetti. LIDAR: princípios e aplicações florestais. EMBRAPA, p231-232. 2010.
- GONÇALVES, M. de L. de A. M.; CARVALHO, C. A. P. Geração de Modelo Digital de Terreno a partir de mapas digitais 3D: estudo de caso visando garantir o contexto geomorfológico com redução dos dados amostrais, Vol., *Ciênc. Geoid*, Curitiba, v. 9, n. 1, p.105-119, 2003.
- HENTZ, A. M. Klein; RUZA, M. Sabrina; CORTE, A. P. Dalla; SANQUETTA, C. Roberto. Técnicas de sensoriamento remoto para estimativa de biomassa em ambientes florestais. UFPR. Enciclopédia Biosfera, Centro científico Conhecer, Goiânia, v.10, n.18; p2811 – 2014.
- HIGUCHI, Niro; SANTOS, Joaquim; RIBEIRO, R. Joao; MINETTE, Luciano; BIOT, Yvan. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra –firme da Amazônia brasileira. INPA, p 156 – 2008.
- IVERSON, L. R. et al. Use of GIS for Estimating Potential and Actual Forest Biomass for Continental South and Southeast Asia. In: V. H. DALE (Ed). *Effects of land-use change on atmospheric CO concentrations*. Springer-Verlag, 1994.
- JUNIOR, C. A. Davis. Geoprocessamento: dez anos de transformações. UDESC, p21. 2010.
- LEITOLD, Veronika. Airborne lidar-based estimates of tropical Forest structure and ground topography In a mountainous area of the Brazilian Atlantic forest. São José dos Campos – SP. INPE – 2014.
- MACIEL, A. Oliveira. Aplicações: Mapeamento móvel utilizando a tecnologia Lidar. ENGEFOTO – INPE, p1 – 2011.
- MARTINS, Marlo. FELIX, Daniele. KERSTING, Ana. Análise do padrão de exatidão cartográfica (PEC) para dados provenientes do sistema laser – ALTM 2050. COBRAC – UFSC, 2004.
- MARTINS, O.S. et al. Estimativa da densidade de biomassa potencial com uso de SIG no estado de São Paulo. *Cadernos da Mata Ciliar / Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Departamento de Proteção da Biodiversidade*. - N. 2 (2009)--São Paulo: SMA, 2009.

- MATOS, João Luiz de. Fundamentos de Informação Geográfica. Lidel 4ª ed. Coimbra, Portugal, 2001.
- MELLO, S. L. de Miranda; GONÇALVES, J. L. de Moraes. Equações para estimar a biomassa da parte aérea e do sistema radicular em povoamentos de *Eucalyptus grandis* em sítios com profundidades distintas. USP – SIF, p 106 – 2011.
- MENESES, P. Roberto; ALMEIDA, Tati. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. UNB – CNPq, p 11. Brasília - 2012.
- MALTAMO, M.; EERIKÄINEN, K.; PITKÄNEN, J.; HYYPPÄ, J.; VEHMAS, M. Estimation of timber volume and stem density based on scanning laser altimetry and expected tree size distribution functions. *Remote Sensing of Environment*, v.90, p.319-330, 2004.
- MOREIRA, M. Alves. Fundamentos de Sensoriamento Remoto e Metodologia de Aplicação. 3ª Ed. UFV, 2005.
- NEVES, D. Andreia. Evolução temporal de fragmentos de vegetação nativa no município de Agudos-SP, utilizando fotografias aéreas. UNESP-Faculdade de Ciências Agrônomicas – Botucatu-SP, p1 – 2007.
- NILSSON, M. Estimation of Tree Heights and Volume Using Airbone LIDAR System. *Remote Sensing Environment*, v. 56, p1-7, 1996.
- NOVO, E. M. L. de M. Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações. Editora Edgar Blücher Ltda. São José dos Campos, 1989. 308p.
- NUTTO, L. Manejo do crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. baseado na árvore individual. *Ciência Florestal*, v.11, p.9-25, 2001.
- OLIVEIRA, L. Teixeira. Aplicação do Lidar no inventário de florestas plantadas. UFLA – 2011.
- OLIVEIRA, L. Teixeira; FERREIRA, M. Zelia; CARVALHO, L. M. Tavares; FILHO, A. C. Ferraz; OLIVEIRA, T. C. Andrade; SILVEIRA, E. M. Oliveira. JUNIOR, F.W. Acerbi. Determinação do volume de madeira em povoamento de eucalipto por escâner a laser aerotransportado. Lavras – MG – UFLA – 2014.
- PACHECO, A. Penha; CENTENO, J. A. Silva; ASSUNÇÃO, M.G. Tavares; BOTELHO, M. Faria. Classificação de pontos LIDAR para a geração do MDT. Curitiba – PR . UFPR – 2011.
- PANZONI, F. Jorge. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: Diagnosticando a mata atlântica. INPE – Curso de sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente – Capítulo 8, p7 – 2002.
- RIBAS, R. Pinheiro. Individualização de árvores em ambiente florestal nativo utilizando métodos de segmentação em modelos digitais produzidos a partir da tecnologia LIDAR. Belo Horizonte – MG . UFMG. 2011
- RIBEIRO, E. A. Werneck. Técnicas de Mensuração – Espécies Arbóreas. Presidente Prudente – SP. UNESP . Editora Azimute. Vol1. P18. 2011.
- SANCHES, Luciana; SILVA, B. Ludynilla; LIMA, D. Suzy; PEREIRA, A. Osvaldo; CARRILHO, J. Flair; NOGUEIRA, S. José. Estoque de energia na biomassa e no ar do dossel de *Vochysia divergentes* Pohl. UFMT - Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental. Vol. 18. Nº9 – 2014.
- SANTOS, Alex. Geomática: Cartografia para engenharia ambiental. UNIR – FUFRR, p20 – 2004.
- SANQUETTA, C. Roberto; SILVEIRA, Pericles; KOELHER, H. Soares; ARCE, J. Eduardo. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. *Revista Floresta*, PR – 2008.
- SANQUETTA, C.R.; WATZLAWICK, L.F.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M.A.B.; GOMES, F.S. As florestas e o carbono. Curitiba: FUPEF/ Imprensa da UFPR, 2002

SATO, L. Yumie; SHIMABUKURO, Y. Edemir; KELLER, Michael; SANTOS, M. Nara; ARAGÃO, L. E. O. Cruz. Análise da relação entre dados de LiDAR e de biomassa florestal no sudoeste da Amazônia. INPE – SBSR – 2015.

SCHAFER, A. Gularte & LOCH, R. E. Nogueira. Aplicação dos dados do sensor Laser scanner para modelagem do terreno visando projetos rodoviários. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE.

SCHIMALESKY, Valmir. Avaliação da qualidade da informação altimétrica derivada da varredura a laser em uma região coberta por vegetação: um estudo de caso. Curitiba – PR . UFPR. 2007.

SILVA, C. Alberto; KALUBERG, Carine; HUDAK, Andrew; LIENERMANN, Robert; CARVALHO, S. P. Chaves; RODRIGUEZ, L.C. Estraviz. Utilização da tecnologia LiDAR para estimação da biomassa florestal em povoamentos de Eucalyptus sp. Foz do Iguaçu – PR. INPE – 2013.

SOUZA, C.S et al. Técnicas de sensoriamento remoto como subsídios ao estudo de florestas implantadas no Brasil: uma revisão bibliográfica. Ciência Florestal, Santa Maria, v 17, n.p. 409-417, out /dez. 2007.

ZHAO, Maosheng; RUNNING, Steven. Terrestrial net primary production from 2000 though 2009. 2010

MAPA de BIOMAS,2004. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais>>. Acesso em: 03 jan. 2016.

MATA ATLANTICA,2006. Disciplina Fitogeografias do Curso de Engenharia Florestal na UFV. Disponível em: <[ftp://www.ufv.br/def/disciplinas/ENF448/aula\\_10\\_fitogeografia/BIOMAS/MATA%20ATL%C2NTICA.pdf](ftp://www.ufv.br/def/disciplinas/ENF448/aula_10_fitogeografia/BIOMAS/MATA%20ATL%C2NTICA.pdf)>. Acesso em: 04 Jan. 2016.

< <Http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/estoque-das-florestas?print=1&tmpl=component>>. Acesso em: 12 abril. 2016.

< <Http://www.mma.gov.br/biomas/amaz%C3%B4nia> > Acesso em 15 abril. 2016

<[http:// www.haglofsweden.com](http://www.haglofsweden.com)> Acesso 4 Jan. 2016

## ANEXO A – ARTIGO

### QUANTIFICAÇÃO DE BIOMASSA E ALTURA DAS ÁRVORES EM UMA FLORESTA DE MATA ATLÂNTICA EM BELO HORIZONTE - MG, UTILIZANDO A TECNOLOGIA LIDAR

Diogo Caio Rocha Amorim<sup>1\*</sup>  
Nadia Bernardi Bonumá<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil – diogocaio@hotmail.com

<sup>2</sup>UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil – [nadia.bonuma@ufsc.br](mailto:nadia.bonuma@ufsc.br)

#### Resumo

O objetivo de este trabalho foi quantificar o volume de biomassa e apresentar a altura média das árvores dominantes, de uma floresta remanescente de Mata Atlântica em Belo Horizonte - MG, onde foi realizado um mapeamento a Laser viabilizado pela tecnologia LiDAR, o que foi comparado com dados de inventários florestais desta área. Para a aquisição dos dados LiDAR, foi realizado um único sobrevoo no dia 25 de Janeiro de 2015 com um equipamento ALTM3100 da empresa canadense Optech embarcado em uma aeronave SENECA II. Já para o levantamento dos dados de inventário florestal, foi realizada uma campanha nos dias 16,17,23 e 24 de janeiro de 2016, utilizando o método de área fixa com dados de DAP e altura média das árvores. O cruzamento dos dados entre a campanha de campo e o levantamento utilizando o Sensoriamento Remoto, obtiveram resultados próximos, encontrando diferenças entre 2% e 11% para quantidade em metros cúbicos das áreas analisadas. Para a quantidade total do número de indivíduos foi encontrado uma diferença de 2%. Com o trabalho pode-se perceber que o levantamento por meio do sistema Lidar, mostrou poucas variações em relação ao método de área fixa por inventário florestal e quanto maior a declividade, as análises de dados LiDAR, tendem a sofrer uma perda na quantidade e qualidade de dados levantados.

*Palavras-chave:* Sensoriamento Remoto, LiDAR, Mapeamento, Vegetação, Inventário Florestal.

#### Abstract

The objective of this study was to quantify the volume of biomass and present the average height of the dominant trees in a forest remnant of the Atlantic Forest in Belo Horizonte - MG, where we conducted a Laser mapping made possible by LiDAR technology, which was compared with data forest inventories in this area. For the acquisition of LiDAR data, we performed a single overflight on 25 January 2015 with a ALTM3100 equipment of the Canadian company Optech embarked on a SENECA II aircraft. As for the survey of forest inventory data was carried out a campaign in the days 16,17,23 and 24 January 2016, using the fixed area method with DAP data and average height of the trees. The crossing of data between the field campaign and the survey using remote sensing, obtained similar results, finding differences between 2% and 11% for quantity in cubic meters of the analyzed areas. To the total amount of the number of individuals with a difference of 2% was found. The work can be seen that the survey through the Lidar system, showed little variation in relation to the fixed area method for forest inventory and the higher the slope, data analysis the LiDAR, suffer a loss in quantity and quality of collected data.

*Keywords:* Remote Sensing, LiDAR, Mapping, Vegetation, Forest Inventory

---



## INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica apresenta um tipo de vegetação contígua podendo ser identificável em escala regional, portanto considerada um bioma brasileiro. Este bioma contém uma área de aproximadamente 1.110.182 km<sup>2</sup> que representa 13,04 % de todo o território brasileiro (IBGE, 2004).

Um bioma extremamente rico em diversidade e importante para o ecossistema apresenta uma diversidade de fitofisionomias que são determinadas pela proximidade da costa marítima, relevo, tipos de solo e regimes pluviométricos (UFV, 2006).

Caracterizada como uma floresta tropical, a Mata Atlântica é representada por uma heterogeneidade em sua estrutura (PHILIPS et al., 2004; QUESADA et al., 2012 apud SATO et al., 2015), apresentando um potencial enorme para sua exploração, como madeireiras e um quantitativo de milhões de hectares com florestas plantadas utilizadas entre tantos para a produção de celulose (FILHO et al., 2003).

O conhecimento íntegro das florestas de um país é importante para tomadas de decisão, planejamento territorial e ambiental sendo de suma importância conhecer tais potenciais, mesmo que para fins de conservação, por isso se torna muito utilizado nos dias de hoje o inventário florestal (FILHO et al., 2003).

Um inventário florestal é um método que descreve qualitativa e quantitativa as espécies florestais de uma determinada área, podendo ser realizados com diferentes finalidades, botânica ou ecológica, podendo também possuir quantitativo de biomassa (SOUZA, 2007).

Biomassa é a quantidade em massa de material de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal (MARTINELLI et al, 1994, citado por SANQUETTA et al, 2008) e está relacionada à produtividade primária líquida que um ecossistema tem a capacidade de produzir (ZHAO e RUNNING, 2010). Para a estimativa de dossel, altura das árvores e suas variáveis dendométricas são necessárias abordar relações entre o diâmetro total das copas das árvores e sua relação de DAP (Diâmetro da Casca à altura do Peito), onde a relação entre a dimensão da copa e o crescimento do diâmetro permitiu o desenvolvimento de um modelo de crescimento de diâmetro por meio de medições em campo, através da existente relação entre dimensão de copa e DAP (OLIVEIRA, 2011).

Existem entre outras técnicas de campo, possibilidades de quantificar biomassa e altura média de dosséis de uma floresta utilizando levantamentos por Sensoriamento Remoto. Os levantamentos florestais oriundos do sensoriamento remoto tem demonstrado ser uma ferramenta importante para o desenvolvimento da Ciência Florestal e permite ganhos significativos no inventário (SOUZA et al., 2007).

Atribuindo a estes levantamentos podemos concretizar a tecnologia LiDAR como uma tecnologia de essencial valor para obtenção dos dados florestais (OLIVEIRA, 2011). O LiDAR se destaca como uma recente tecnologia empregada para a obtenção de medidas diretas da vegetação, como altura do dossel, o número de indivíduos, o volume e o diâmetro da copa (DUBAYAH et al., 2000; POPESCU et al., 2011 apud SATO et al., 2015).

É objetivo de este trabalho quantificar o volume de biomassa e apresentar a altura média das árvores dominantes de uma floresta remanescente de Mata Atlântica em Belo Horizonte - MG, extraído por um mapeamento a Laser viabilizado pela tecnologia LiDAR e compará-los com dados de inventários florestais desta área.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste estudo foi realizado um mapeamento de 2,4 km<sup>2</sup>, no Parque das Mangabeiras, Belo Horizonte – MG, onde sua localização é destacada na Figura 1.

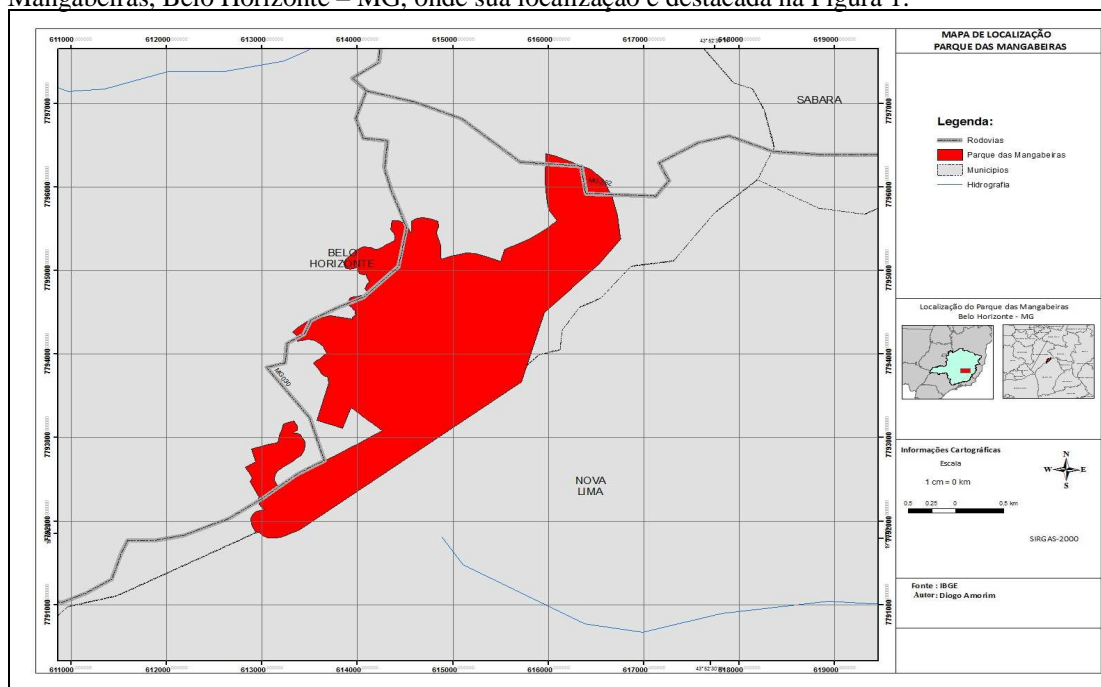


Figura 1 - Localização Parque das Mangabeiras, Belo horizonte - MG.

Para a aquisição dos dados LiDAR, foi realizado um único sobrevoo no dia 25 de Janeiro de 2015 com um equipamento ALTM3100 da empresa canadense Optech embarcado em uma aeronave SENECA II. Neste voo foram respeitados os seguintes parâmetros:

Tabela 1. Relação de variáveis e suas especificações utilizadas para a realização do sobrevoo

| Variáveis                    | Especificação                             |
|------------------------------|---|
| Altura do Voo                | 1000m                                     |
| Acurácia horizontal          | Melhor que 50 cm (escala 1:1.000 PEC "A") |
| Acurácia vertical            | Melhor que 15 cm                          |
| Frequência de escaneamento   | 70 Hz                                     |
| Ângulo de escaneamento (FOV) | 24°                                       |
| Retornos possíveis           | Até 4 medições para cada pulso            |

Após a realização da etapa de voo os dados coletados foram gravados em HD externo e processados em escritório. Foi feita a separação dos dados coletados em dados brutos com arquivos de imagem e dados brutos com arquivos da nuvem de pontos.

As imagens somaram um total de 54 ortofotos para a integral cobertura do parque analisado. A resolução espacial real de cada imagem foi determinada em 20 cm. De posse destes dados foi realizado o processo de ortofotificação e georreferenciamento da ortofotos. Este processo conta com a elaboração de modelos digitais de elevação e adequação de processos de orto-imagem trabalhados nos Softwares Terra Photo e Terra Scan da empresa finlandesa Terrasolid.

Em um pós-processamento, os dados do mapeamento a laser foram tratados e então diferenciados entre solo e vegetação. Para essa classificação foram utilizados algoritmos computacionais que trabalham a nuvem de pontos, identificando o número do retorno, onde se realizou comparações

entre as alturas de pontos adjacentes e dentro de uma rede, trabalhando com os conceitos de declividade, segmentação e superfície.

De posse destes dados, foram definidas quatro parcelas de estudo contando com diferentes eixos de declividade no terreno. Cada parcela contou com uma medida de 20 metros de largura por 30 metros de comprimento, conforme descrita na Figura 2.



Figura 2 – Distribuição das Parcelas sobre a ortofoto.

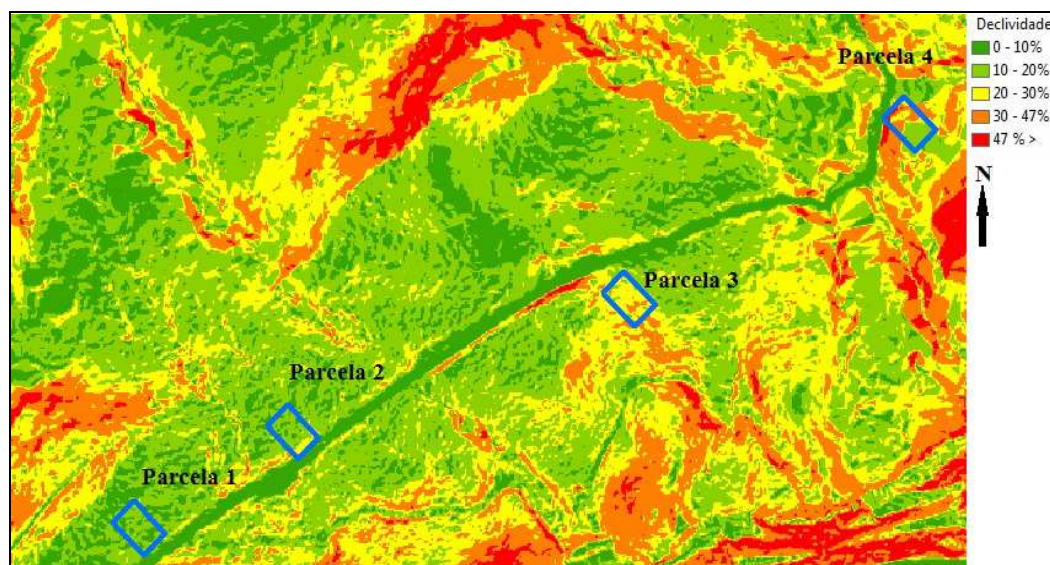


Figura 3. Distribuição das Parcelas sobre o mapa de declividade.

Para os dados do Inventário Florestal foram aproveitadas as mesmas parcelas do levantamento aéreo. O método utilizado para este inventário foi o de Área Fixa que permite levantar todas as espécies no interior da parcela de forma integral, utilizando dados como DAP (Diâmetro da Casca a Altura do Peito) e também altura das árvores (CESARO, 1994).

Os dados foram coletados nos dias 16, 17, 23 e 24 de janeiro de 2016, totalizando 28 horas em campo e contou com o apoio de dois técnicos para tal execução. Foram utilizados GPS de navegação e Diferencial, além de trenas, pranchetas e um Hipsômetro a laser L5 da empresa Suéca Haglöf Sweden que serviu para medir a altura das árvores.

## RESULTADOS

O cruzamento dos dados entre a campanha de campo e o levantamento utilizando o Sensoriamento Remoto, obtiveram resultados próximos. Para representar o diâmetro e a cubagem dos indivíduos amostrados, foi gerado um gráfico comparativo entre os mesmos (Figura 4), onde as parcelas apresentam algumas variações entre o Inventário Florestal e os dados Lidar.

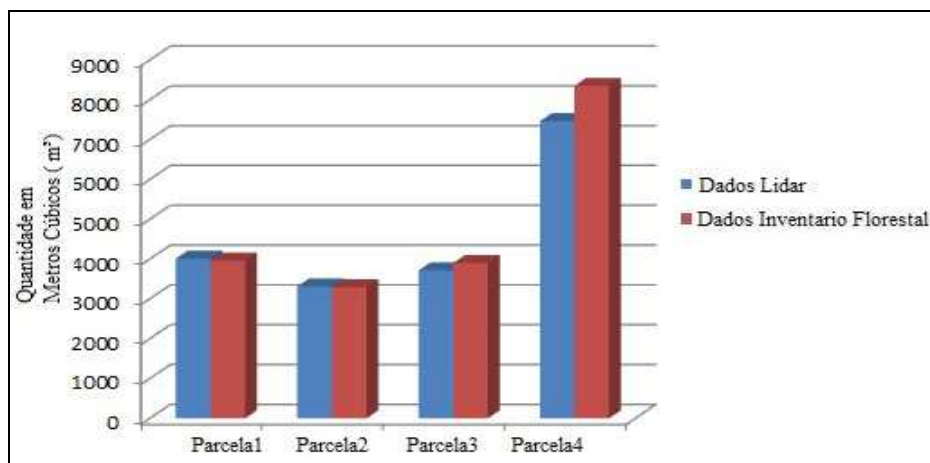


Figura 4. Gráfico comparativo de metros cúbicos dos indivíduos entre LIDAR e Inventário Florestal.

Na Figura 4 observamos a diferença de cubagem entre os dois métodos. Para as parcelas 1 e 2 foi encontrado uma diferença de 2%, já na parcela 3 essa diferença aumenta para 4% e 11% para parcela 04.

Para o número de indivíduos também foi gerado um outro gráfico (Figura 5) que apresenta o total de indivíduos levantados em campo e também de modo aéreo.

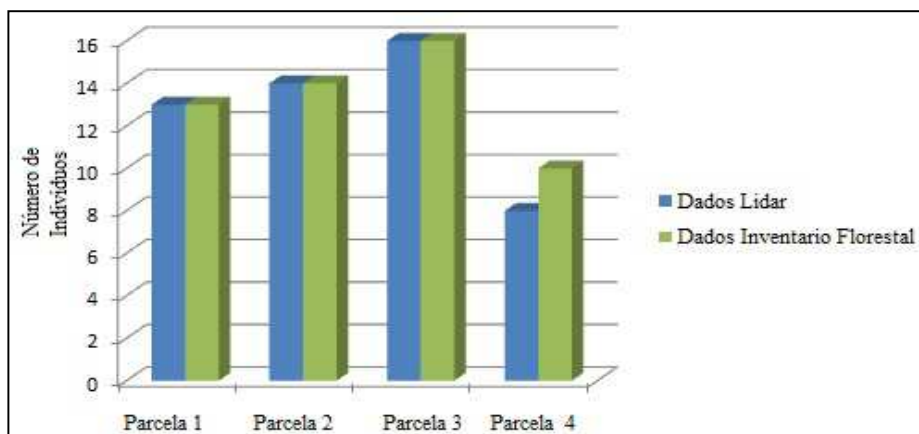


Figura 5 - Gráfico comparativo de altura dos indivíduos entre LIDAR e Inventário Florestal.

Os indivíduos das parcelas 1 a 3 permaneceram a mesma quantidade levantada. Já na parcela 4 houve uma diferença de 2%, sendo superior o número de indivíduos com os dados levantados pelo Inventário Florestal.

Melhor representando a execução dos levantamentos foi realizado um gráfico de dispersão (Figura 6) para dispor o total de indivíduos pela altura dos mesmos.

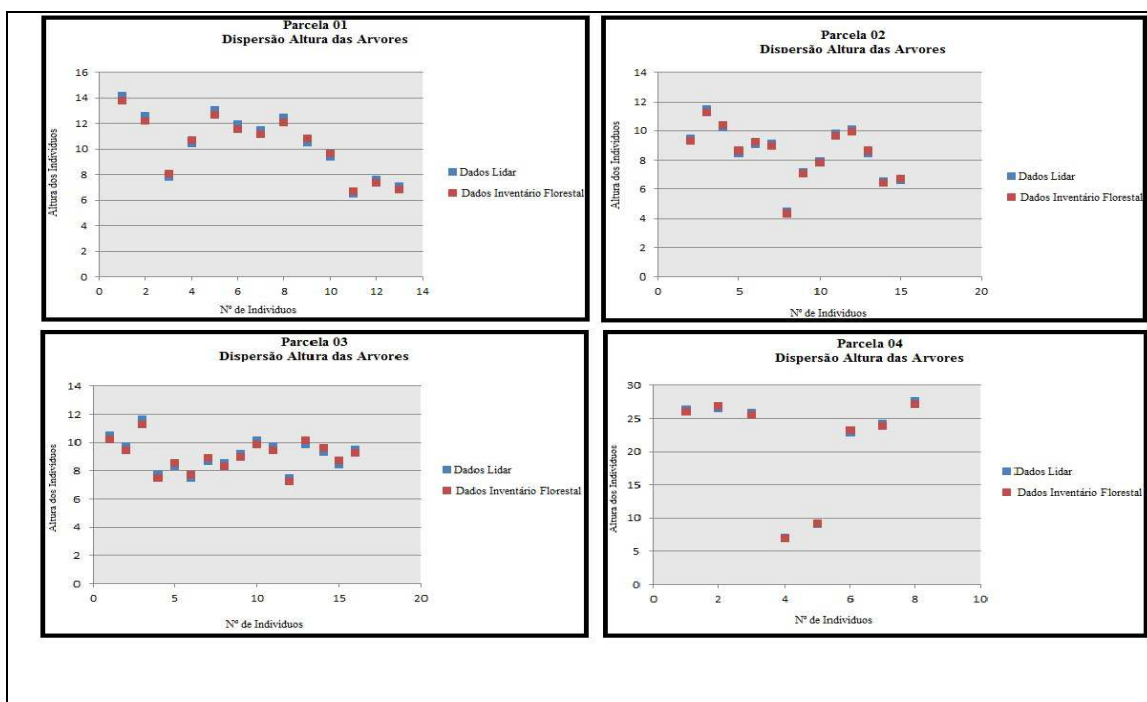


Figura 6. Gráfico comparativo de dispersão da altura e quantidade dos indivíduos entre LIDAR e Inventário Florestal.

## DISCUSSÃO

Os resultados encontrados, foram tidos como satisfatórios, pois não apresentam grandes discrepâncias. Tanto para o Inventário Florestal de área fixa e pelo levantamento Lidar, obtiveram porcentagens de distanciamento dos valores encontrados bem próximos uns dos outros.

As parcelas 3 e 4 foram tidas como incomuns, pois mesmo sendo consideradas satisfatórias, apresentaram valores mais desiguais que as parcelas 1 e 2. Este fato logo foi atribuído a escolha das mesmas, que apresentaram uma maior declividade, variando propositalmente de 20% a 47% ou mais de declividade.

## CONCLUSÕES

- O levantamento por meio do sistema Lidar, mostrou poucas variações em relação ao método de área fixa por inventário florestal.
- As variações temporais entre os levantamentos de campo e aéreo, com aproximadamente 1 ano de diferença, pouco influenciam no resultado dos mesmos.
- Quanto maior a declividade, as análises de dados Lidar, tendem a sofrer uma perda na quantidade e qualidade de dados levantados

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, M. C. Rocha. Proposta de redução de custos em inventários florestais por meio do uso de técnicas de Geoprocessamento. INPE – São José dos Campos, SP – Divisão de Sensoriamento Remoto, p2-3. 2013.

CAMARGOS, L. Araújo; SILVA, C. Coutinho; MORAES, M. Francisco; PRUDENTE, C. Nobre. Aplicação do Modelo Digital de Terreno (MDT) Advanced Elevation Series (AES) em parte do município de Formosa, GO. INPE, p3 – 2015.

CASTRO, F. Cunha; CENTENO, T. Mezzadri. Segmentação de imagens geradas por perfilamento a laser para delimitação de árvores individuais em uma área de reflorestamento de eucaliptos. CEFET – INPE, p 739 – 2005.

CENTENO, Jorge e MITISHITA, Edson. Laser Scanner aerotransportado no estudo de áreas urbanas: A experiência da UFPR. SBSR, INPE, 2007.

CELES, C. H. Souza; SHIMABUKURO, Y. Edemir; CAMPOS, M. A. Assis; HIGUCHI, Niro. Estimativa de biomassa em uma floresta tropical no município de Maués - AM, Brasil. INPA – INPE, p 2827 – 2013.

CESARO, A.; ENGEL, O. A.; FINGER, C. O. G.; SCHNEIDER, P. R. Comparação dos métodos de amostragem de área fixa, relascopia e de seis árvores, quanto à eficiência, no inventário florestal de um povoamento de Pinus sp. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 97-108, 1994.

CRHISTOFOLETTI, Antônio. Modelagem de Sistemas Ambientais. Ed. Edgard Blucher, SP. 1999.

FELGUEIRAS, Carlos; CÂMARA, Gilberto. Modelagem Numérica de Terreno. INPE – 2008.

FERREIRA, L. Guimarães; CLEMENTINO, Nilson; FERREIRA, M. Eduardo. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. LPIG – UFGO. p 3987 – 388. 2008.

FIGUEIREDO, Divino. Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto. Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Brasília - DF, 2005.

FILHO, A. D. de Moraes; BRAVO, C. Vera; ROQUE, R. A. Moya; ANDRADE, W. Fernandes. Utilização de métodos estatístico em inventário floresta. USP, SP – 2003.

FILHO, C. A. Zocolotti; CENTENO, J. A. Silva. Análise da qualidade de informações altimétricas geradas pelo sistema Aster. UFPR, p7 – 2004.

GIONGO, Marcos; KOEHLER, H. Soares; MACHADO, S. Amaral; KIRCHNER, F. Felipe; MARCO, Marchetti. LIDAR: princípios e aplicações florestais. EMBRAPA, p231-232. 2010.

GONÇALVES, M. de L. de A. M.; CARVALHO, C. A. P. Geração de Modelo Digital de Terreno a partir de mapas digitais 3D: estudo de caso visando garantir o contexto geomorfológico com redução dos dados amostrais, Vol., Ciênc. Geoid, Curitiba, v. 9, n. 1, p.105-119, 2003.

HENTZ, A. M. Klein; RUZA, M. Sabrina; CORTE, A. P. Dalla; SANQUETTA, C. Roberto. Técnicas de sensoriamento remoto para estimativa de biomassa em ambientes florestais. UFPR. Enciclopédia Biosfera, Centro científico Conhecer, Goiânia, v.10, n.18; p2811 – 2014.

HIGUCHI, Niro; SANTOS, Joaquim; RIBEIRO, R. Joao; MINETTE, Luciano; BIOT, Yvan. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra –firme da Amazônia brasileira. INPA, p 156 – 2008.

JUNIOR, C. A. Davis. Geoprocessamento: dez anos de transformações. UDESC, p21. 2010.

MACIEL, A. Oliveira. Aplicações: Mapeamento móvel utilizando a tecnologia Lidar. ENGEFOTO – INPE, p1 – 2011.

MARTINS, Marlo. FELIX, Daniele. KERSTING, Ana. Análise do padrão de exatidão cartográfica (PEC) para dados provenientes do sistema laser – ALTM 2050. COBRAC – UFSC, 2004.

MATOS, João Luiz de. Fundamentos de Informação Geográfica. Lidel 4ª ed. Coimbra, Portugal, 2001.

MELLO, S. L. de Miranda; GONÇALVES, J. L. de Moraes. Equações para estimar a biomassa da parte aérea e do sistema radicular em povoamentos de Eucalyptus grandis em sítios com profundidades distintas. USP – SIF, p 106 – 2011.

- MENESES, P. Roberto; ALMEIDA, Tati. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. UNB – CNPq, p 11. Brasília - 2012.
- MOREIRA, M. Alves. Fundamentos de Sensoriamento Remoto e Metodologia de Aplicação. 3ª Ed. UFV, 2005.
- NEVES, D. Andreia. Evolução temporal de fragmentos de vegetação nativa no município de Agudos-SP, utilizando fotografias aéreas. UNESP-Faculdade de Ciências Agrônômicas – Botucatu-SP, p1 – 2007.
- NOVO, E. M. L. de M. Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações. Editora Edgar Blücher Ltda. São José dos Campos, 1989. 308p.
- OLIVEIRA, L. Teixeira. Aplicação do Lidar no inventário de florestas plantadas. UFLA – 2011.
- PANZONI, F. Jorge. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: Diagnosticando a mata atlântica. INPE – Curso de sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente – Capítulo 8, p7 – 2002.
- SANCHES, Luciana; SILVA, B. Ludynilla; LIMA, D. Suzy; PEREIRA, A. Osvaldo; CARRILHO, J. Flair; NOGUEIRA, S. José. Estoque de energia na biomassa e no ar do dossel de *Vochysia divergentes* Pohl. UFMT - Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental. Vol. 18. Nº9 – 2014.
- SANTOS, Alex. Geomática: Cartografia para engenharia ambiental. UNIR – FUFRR, p20 – 2004.
- SANQUETTA, C. Roberto; SILVEIRA, Pericles; KOELHER, H. Soares; ARCE, J. Eduardo. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. Revista Floresta, PR – 2008.
- SATO, L. Yumie; SHIMABUKURO, Y. Edemir; KELLER, Michael; SANTOS, M. Nara; ARAGÃO, L. E. O. Cruz. Análise da relação entre dados de LiDAR e de biomassa florestal no sudoeste da Amazônia. INPE – SBSR – 2015.
- SCHAFER, A. Gularte & LOCH, R. E. Nogueira. Aplicação dos dados do sensor Laser scanner para modelagem do terreno visando projetos rodoviários. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE.
- SOUZA, C.S et al. Técnicas de sensoriamento remoto como subsídios ao estudo de florestas implantadas no Brasil: uma revisão bibliográfica. Ciência Florestal, Santa Maria, v 17, n.p. 409-417, out /dez. 2007.
- ZHAO, Maosheng; RUNNING, Steven. Terrestrial net primary production from 2000 though 2009. 2010
- MAPA de BIOMAS,2004. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais>>. Acesso em: 03 jan. 2016.
- MATA ATLANTICA,2006. Disciplina Fitogeografias do Curso de Engenharia Florestal na UFV. Disponível em: <[ftp://www.ufv.br/def/disciplinas/ENF448/aula\\_10\\_fitogeografia/BIOMAS/MATA%20ATL%C2NTIC A.pdf](ftp://www.ufv.br/def/disciplinas/ENF448/aula_10_fitogeografia/BIOMAS/MATA%20ATL%C2NTIC A.pdf)>. Acesso em : 04 Jan. 2016.