

Universidade Federal do Acre  
Programa de pós-graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a  
Amazônia

**Comparação da estimativa de parâmetros estruturais e de mapas de  
predição de biomassa produzidos por meio de simulações de métodos de  
amostragem e dados LIDAR na reserva florestal da Embrapa Acre**

Mário Sérgio Silva de Carvalho Filho

Rio Branco-Acre

2016

Universidade Federal do Acre  
Programa de pós-graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a  
Amazônia

**Comparação da estimativa de parâmetros estruturais e de mapas de  
predição de biomassa produzidos por meio de simulações de métodos de  
amostragem e dados LIDAR na reserva florestal da Embrapa Acre**

Mário Sérgio Silva de Carvalho Filho

Dissertação apresentada para obtenção do  
título de mestre em Ciência, Inovação e  
Tecnologia para a Amazônia, na área de  
concentração de tecnologia em  
geoprocessamento aplicada ao Manejo  
Florestal.

Orientador: Dr. Marcus Vinicio Neves d'Oliveira

Rio Branco-Acre

2016

À Marivalda Andrade da Silva, minha saudosa vó, com amor.

**OFEREÇO**

Aos meus Pais, Mário Sérgio e Glória.

A minha irmã Skarlatt e minha sobrinha Maria Isabela.

A minha família.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por ter me iluminado, me guardado e me dado a oportunidade de cursar essa formação.

A minha família na pessoa de meu pai Mário Sérgio Silva de Carvalho, minha mãe Glória Maria dos Santos Carvalho, minha apetejada irmã Skarlatt Silva de Carvalho e minha querida sobrinha Maria Isabela, que me deram todo apoio necessário e paz para que eu executasse minhas funções durante a pesquisa.

A minha namorada Sthefany Oliveira pela paciência para comigo nos dias árduos de trabalho que não pude dar atenção a ela.

A Embrapa Acre pelo o apoio institucional essencial para execução da pesquisa, na qual me forneceu dados complexos para que eu pudesse processar e apresentar o presente trabalho.

A todos os pesquisadores da Embrapa Acre do setor Floresta em especial ao meu orientador Marcus Vinicio Neves d'Oliveira, que não mediu esforços para que fosse feito uma pesquisa de excelência, como também Daniel Papa, Luís Oliveira e Evandro Orfanó, pelo apoio técnico e científico que me forneceram.

Aos meus colegas de pós-graduação Quétilla, Givanildo Ortega, Jordana, Neila Fernandes, Alyson Moretti, Bruno Flangini, Kennedy e Nara Pantoja.

A todos meus amigos Diêgo Leão, Reinaldo Sampaio, Gustavo Fernandes, Karina Costa, Maria Juciene e Isabele Domingues pelo companheirismo.

A Universidade Federal do Acre e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia por ter me dado a oportunidade de crescimento profissional e pessoal, durante o tempo de pesquisa.

“Com a cabeça erguida e mantendo a fé em Deus. O seu dia mais feliz vai ser o mesmo que o meu. A vida me ensinou a nunca desistir, nem ganhar, nem perder mas procurar evoluir. Podem me tirar tudo que tenho, só não podem me tirar as coisas boas que eu já fiz pra quem eu amo.”

**Charlie Brown Jr- Dias de Lutas, Dias de Glória**

## RESUMO

O uso de tecnologias no setor florestal tem permitido dentre outras possibilidades, conhecer a real condição da floresta desempenhando o menor trabalho possível, o que garante uma maior eficiência ao se tratar, por exemplo, em tipos de amostragem no inventário florestal. A pesquisa teve como objetivo testar a eficiência da amostragem aleatória e sistemática em quatro níveis de intensidade amostral para produzir estimativas de biomassa seca acima do solo e comparar mapas de predição de biomassa com dados gerados pelo LIDAR (*Light Detection and Ranging*). O trabalho foi realizado em uma reserva florestal de 800 ha do Campo Experimental da Embrapa Acre. Os dados foram fornecidos pela Embrapa Acre e gerados em duas fases, a primeira por meio de um inventário 100%, no qual foi utilizado para simular a amostragem na área de estudo, sendo utilizado todas as árvores vivas com DAP > 30 cm, a segunda fase através de dados LIDAR, ou seja, utilizando o perfilhamento à Laser aerotransportado. Para simular a amostragem foram utilizados três tamanhos de parcelas distintos 20mx20m, 50mx50m e 100mx100m em diferentes intensidades amostrais que foram 0,5%, 1%, 5% e 10%. O parâmetro utilizado para comparação foi o da biomassa seca acima do solo em Mg.ha<sup>-1</sup> pelo teste Tukey, a 95% de probabilidade através do programa Minitab17 e as parcelas foram sorteadas e distribuídas por meio de simulações de instalação de parcelas utilizando o Arc GIS 10. Os dados LIDAR foram amostrados por uma empresa contratada, a partir deles foram realizados todos os modelos e a extrapolação das métricas para toda a área através do comando gridmetrics. Os mapas de predição foram confeccionados pela ferramenta de interpolação vizinhos próximos do Arc GIS 10 e as comparações entre os mapas foram feitas pela ferramenta do Arc GIS 10, Zonal statistic. A biomassa média obtida do inventário florestal foi de 155,2 Mg.ha<sup>-1</sup>, sendo que o tamanho de parcela ótimo encontrado foi de 50mx50m e os tratamentos que mais se aproximaram da média do inventário florestal foram o aleatório com intensidade amostral de 5% e o sistemático com intensidade amostral de 10%. Os tratamentos que atenderam o erro aceitável de 10% foram à amostragem aleatória com intensidades amostrais de 5% e 10% e a amostragem sistemática com intensidade amostral de 10%. Não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos. Os mapas de vegetação baseados na biomassa que melhor representaram a biomassa seca acima do solo no tamanho de parcela 50mx50m foram na amostragem aleatória com intensidade amostral de 10%, e na amostragem sistemática com intensidades amostrais de 5% e 10%, comparando com os mapas gerados a partir do inventário 100% e dos dados LIDAR. Pode-se concluir que o tamanho ótimo de parcela foi de 50mx50m, com intensidades amostrais acima de 5% não havendo diferença entre os métodos de amostragem e que os mapas gerados pelo inventário 100% e pelos dados LIDAR foram equivalentes.

**Palavras-Chave:** Inventário Florestal; Intensidade Amostral; Biomassa; Manejo Florestal.

## ABSTRACT

The use of technologies in the forest sector has allowed among other possibilities, to know the real condition of the forest, performing the lowest possible work to it, what ensures greater efficiency to, for example, sample types in forest inventory. The research aimed to test the efficiency of random and systematic sampling in four intensity sampling levels to produce estimates of dry biomass above the ground and compare maps of biomass prediction with data generated by LIDAR (Light Detection and Ranging). The study was conducted in a forest reserve of 800 ha from the experimental field of Embrapa Acre. The data were obtained from EMBRAPA Acre and generated in two stages, first through an inventory 100%, which was used to simulate the sampling in the study zone, being used all living trees with DAP>30 cm, the second stage through LIDAR data, that is, using tillering Laser airborne. To simulate the sampling were used three sizes of different plots 20mx20m, 50mx50m and 100mx100m in different intensities sampling which were 0.5%, 1%, 5% and 10%. The parameter used for comparison was the dry biomass above the ground in  $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  by Tukey test, the 95% probability by Minitab17 program and the plots were randomly selected and distributed through simulations of plots installation using the Arc GIS 10. The LIDAR data were sampled by a hired company, from them were carried out all models and extrapolation of the metrics for the entire area through gridmetrics command. The prediction's maps were made by interpolation tool close neighbors of Arc GIS 10 and the comparisons between the maps were made by the Arc GIS 10 tool, Zonal statistic. The average biomass obtained from the forest inventory was  $155.2 \text{ Mg ha}^{-1}$ , and the optimal plot size was of 50mx50m and the treatments that come closest to the middle of the forest inventory were the random with intensity sampling of 5% and the systematic with intensity sampling was 10%. The treatments that attended the acceptable error of 10% were to random sampling with sampling intensity of 5% and 10% and systematic sampling with intensity sampling of 10%. There was no significant statistical difference between the treatments. The vegetation's maps based on biomass that best represented the dry biomass above the ground in plot size 50mx50m were the random sampling with intensity sampling of 10%, and in the systematic sampling with intensity sampling of 5% and 10%, comparing to the maps generated from the 100% inventory of LIDAR data. It can be concluded that the optimum plot size was 50mx50m with intensity sampling of 5% with no difference between the sampling methods and that the maps generated by the inventory 100% and by the LIDAR data were equivalent.

**Keywords:** Forest inventory; Sampling intensity; Biomass; Forest management.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema de perfilhamento a laser com seus quatro componentes principais: I) Par de receptores GPS; II) Sistema inercial de navegação; III) Pulsor laser de alta frequência e IV) Computador para processamento e armazenamento de dados.....	25
Figura 2 - Área de estudo de 800 ha no campo experimental da Embrapa Acre que está localizada no Km 14 da BR 364.....	26
Figura 3 – Sequência utilizada par sortear e distribuir as parcelas na área de estudo. A) Delimitação da área de estudo por meio da utilização de imagens de satélite Rapid Eye (Google Earth); B) Confecção do polígono da área sobre as imagens de satélite; C) Distribuição do Grid sobre toda a área de estudo; D) Clip da área do gride dentro da área de estudo; E) Sorteio das parcelas para os métodos de amostragens e intensidades amostrais estudadas; F) Parcelas sorteadas distribuídas sobre a área de estudo.....	28
Figura 4 – Demonstração da diferença da distribuição de parcelas nos métodos de amostragem aleatório (A) e sistemático (B) utilizando parcelas de 50mx50 m.....	30
Figura 5 – Sensor LIDAR Aerotransportado Harrier 68i instalado na aeronave Cessna-206.....	34
Figura 6 – Aeronave Cessna-206 (PR-FOT), utilizada para fazer sobrevôo na área de estudos e coletar os dados LIDAR.....	34
Figura 7 – Demonstração do polígono da área de estudo reduzida para evitar erro de inconsistência de parcelas produzidas parcialmente fora da amostragem feita pelo LIDAR.....	37
Figura 8 - Histograma com a sequência de processamento dos dados LIDAR.....	37
Figura 9 - Comparação da biomassa média por ha para parcelas de tamanho 20mx20m.....	41
Figura 10 - Comparação da biomassa média por ha para parcelas de tamanho 50mx50m.....	43
Figura 11 - Comparação da biomassa média por ha para parcelas de tamanho 100mx100m.....	46



Figura 12 - Comparação entre os mapas de predição advindos da Amostragem Aleatória em diferentes intensidades amostrais com os Dados LIDAR e utilizando a área total dividida em parcelas de 20mx20m.....	48
Figura 13 - Comparação entre os mapas de predição advindos da Amostragem Sistemática em diferentes intensidades amostrais com os Dados LIDAR e utilizando a área total dividida em parcelas de 20mx20m.....	49
Figura 14 - Comparação entre os mapas de predição advindos da Amostragem Aleatória em diferentes intensidades amostrais com os Dados LIDAR e utilizando a área total dividida em parcelas de 50mx50m.....	51
Figura 15 - Comparação entre os mapas de predição advindos da Amostragem Sistemática em diferentes intensidades amostrais com os Dados LIDAR e utilizando a área total dividida em parcelas de 50mx50m.....	52
Figura 16 - Comparação entre os mapas de predição advindos da Amostragem Aleatória em diferentes intensidades amostrais com os Dados LIDAR e utilizando a área total dividida em parcelas de 100mx100m.....	54
Figura 17 - Comparação entre os mapas de predição advindos da Amostragem Sistemática em diferentes intensidades amostrais com os Dados LIDAR e utilizando a área total dividida em parcelas de 100mx100m..	55
Figura 18 – Comparação da biomassa média gerada entre os mapas de predição de biomassa através do teste de consistência por tratamento para parcelas de tamanho 20mx20m.....	57
Figura 19 – Comparação da biomassa média gerada entre os mapas de predição de biomassa através do teste de consistência por tratamento para parcelas de tamanho 50mx50m.....	59
Figura 20 – Comparação da biomassa média gerada entre os mapas de predição de biomassa através do teste de consistência por tratamento para parcelas de tamanho 100mx100m.....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Número de parcelas sorteadas para cada intensidade amostral para os três tamanhos diferentes de parcela.....	27
Tabela 2 - Resumo de todas as estatísticas para biomassa por ha para parcelas de tamanho 20mx20 m (A= Aleatório, S= Sistemático).....	40
Tabela 3 - Resumo de todas as estatísticas para biomassa por ha em parcelas com tamanho de 50mx50m(A=Aleatório,S=Sistemático).....	42
Tabela 4 - Resumo de todas as estatísticas para biomassa por ha em parcelas com tamanho 100mx100 m (A=Aleatório, S=Sistemático).....	45

## SUMÁRIO

1. Introdução.....	9
2. Objetivos.....	11
2.1 Geral.....	11
2.2 Específicos .....	11
3. Revisão Bibliográfica .....	12
3.1 Inventário Florestal .....	12
3.2 História do Inventário Florestal no Brasil .....	15
3.3 Censo ou Inventário 100% .....	16
3.4 Tipos de Amostragem.....	17
3.4.1 Amostragem simples ao acaso ou aleatória.....	18
3.4.2 Amostragem sistemática .....	19
3.4.3 Amostragem estratificada.....	20
3.5 Biomassa.....	21
3.6 Perfilhamento a Laser (LIDAR - <i>Light Detection and Ranging</i> ) ....	22
4. Material e Métodos .....	26
4.1 Área de estudo .....	26
4.3 Distribuição das parcelas.....	27
4.4 Amostragem Aleatória .....	29
4.5 Amostragem Sistemática.....	29
4.6 Cálculo da biomassa .....	30
4.7 Análise estatística do inventario florestal.....	30
4.8 Elaboração e comparação dos mapas de predição de biomassa	38
5. Resultados e Discussão .....	39
5.1 Comparação de métodos e intensidades amostrais.....	39
5.2 Comparação dos mapas de predição de biomassa.....	47

5.3	Teste de consistência .....	56
6.	Conclusão.....	61
7.	Referência bibliográficas .....	62
8.	Anexo 1 .....	69

## 1. Introdução

Dentre os recursos naturais, a floresta sempre será um dos ambientes mais importantes para atender às demandas, tanto ecológicas, quanto econômicas da sociedade. Em relação às demandas ecológicas se destacam o equilíbrio dos ecossistemas e a regulação do balanço hídrico. Já para demanda econômica, as florestas são essenciais para fornecer toda a matéria prima para vários processos produtivos e garantir a segurança alimentar para muitas famílias (LIMA E POZZORON, 2005).

Uma grande problemática no século XIX e que perdura pelo século atual é o uso insustentável dos recursos naturais pela sociedade e principalmente por parte da iniciativa privada que logo após a revolução industrial utilizou de forma desordenada esses recursos.

Uma das regiões que sofre grande pressão sob os recursos naturais é a Amazônia, devido à falta de fiscalização e de tecnologias para diminuir ações ilícitas. A maior pressão é pela conversão de florestas em pastagens e agricultura.

Segundo Loureiro e Pinto (2005), por volta de 1970, para ajudar no desenvolvimento de regiões atrasadas como a Amazônia, o governo ofereceu várias vantagens que atraíram muitos investidores para região. Essas vantagens fiscais beneficiavam principalmente grandes empresários e grupos econômicos nacionais e internacionais que investiram em empreendimentos considerados insustentáveis.

O principal instrumento eram os incentivos fiscais, reorientados legalmente em 1967, principalmente, para a pecuária, extração madeireira e mineração, atividades que, simultaneamente, requeriam grandes quantidades de terra, destinando-as principalmente à exploração de produtos primários ou semi-elaborados e gerando poucos empregos na região. Muitos empresários em vez de investir nas empresas, investiam principalmente na compra de terras na região Amazônica para fazer especulação fundiária no futuro.

Segundo Souza *et al.* (2006), a maioria das florestas tropicais nativas da Amazônia até hoje vem sendo explorada de forma não racional, sem aplicação dos critérios de sustentabilidade do manejo florestal, o que promove perda da cobertura florestal e da diversidade de espécies.

De acordo com o IMAZON (2015), que monitora o desmatamento na Amazônia há mais de 20 anos, foram derrubados 1.700 quilômetros quadrados de floresta nativa entre agosto de 2014 e fevereiro de 2015. Comparando essa derrubada com o período anterior, o desmatamento aumentou 215%.

Tendo em vista as alternativas para um bom aproveitamento do uso da terra, o manejo de florestal sob regime de rendimento sustentado, constitui uma alternativa racional para a produção econômica de madeira, sem riscos de produzir alterações ecológicas significativas. Entre as etapas fundamentais do ordenamento de atividades do manejo florestal o inventário florestal é um dos mais importantes (ARAÚJO, 2006).

A melhor maneira de obter informações de uma floresta e, inferir sobre suas características presentes, consiste na realização de inventário florestal, que pode ser feito através do censo, ou por meio de amostragem.

Queiroz (2012) relata que, qualquer intervenção planejada em floresta natural tem de ser precedida de inventário minucioso, que forneça estimativas confiáveis dos parâmetros estruturais da floresta como frequência, densidade, dominância, distribuição diamétrica e riqueza de espécies. Também devem ser estudados os valores ecológicos, econômicos e sociais das espécies. É importante que cada floresta seja tratada de forma individual, evitando assim erros de generalização.

Como o inventário florestal é uma etapa muito importante para o uso sustentado da floresta, vale aplicar estudos utilizando diversas formas de amostragem em diferentes intensidades amostrais, mostrando assim qual o método mais eficiente para retratar a realidade, obtendo assim dados advindos de amostragem cada vez mais confiáveis.

Uma alternativa que pode ser utilizada em larga escala para o levantamento preciso e em uma velocidade maior é a utilização da tecnologia Perfilhamento a Laser (LIDAR) que fornece características estruturais importantes da floresta além de ter grande potencial para realizar medidas diretas e estimativas de variáveis dendrométricas.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Geral**

Testar estatisticamente a eficiência de dois métodos de distribuição amostral em quatro níveis de intensidade amostral para produzir estimativas de biomassa seca acima do solo e comparar mapas de predição com dados gerados pelo LIDAR em uma reserva florestal de 800 ha no campo experimental da Embrapa Acre.

### **2.2 Específicos**

2.2.1 Determinar o método, intensidade amostral e tamanho de parcela ótima para estimar biomassa florestal seca acima do solo;

2.2.2 Comparar estimativas de biomassa obtidas por meio de informações de inventário florestal censitário em campo com estimativas produzidas com dados LIDAR;

2.2.3 Comparar mapas de predição de biomassa, gerados a partir dos tratamentos estudados e dados LIDAR identificando os que melhor representem a biomassa seca acima do solo na área de estudo.

### 3. Revisão Bibliográfica

#### 3.1 Inventário Florestal

O Brasil possui uma cobertura florestal significativa perante o cenário mundial. Em 2012 o Brasil encontrava-se entre os cinco maiores países em termos de área florestal, correspondendo a 13% da área global (FAO, 2012).

Morais Filho *et al.* (2003) conceituam que inventário florestal é toda atividade objetivando a quantificação das florestas, com vistas a produção de madeira e outros produtos ou a conservação ambiental, utilizando-se de técnicas estatísticas de amostragem.

De acordo com Queiroz (2012) o inventário florestal é o ramo da ciência florestal que visa avaliar as variáveis qualitativas e quantitativas da floresta e suas inter-relações, assim como dinâmicas de crescimento e sucessão florestal, servindo de base para a formulação de planos de utilização de produtos florestais.

Segundo Hosokawa *et al.* (1995), para que haja um aproveitamento racional e sobrevivência das florestas, é necessária a aplicação de técnicas silviculturais adequadas, baseadas na ecologia de cada tipo de formação vegetal. Para aplicação de técnicas corretas de manejo florestal, assim como o aproveitamento permanente, deve-se conhecer sua composição e estrutura. Os resultados das análises estruturais permitem fazer deduções sobre as origens das características ecológicas, sinecologia, dinamismo e tendências do futuro desenvolvimento das florestas, elementos básicos para o planejamento do manejo silvicultural.

Manejar significa administrar os recursos florestais, sendo necessário, para atingir uma boa administração, coletar, analisar e interpretar os diversos parâmetros dendrométricos, sociais, ecológicos e econômicos; estabelecer metas, programar ações e, assim, atingir os resultados esperados. Dessa forma, compete ao inventário florestal o suporte técnico e científico necessário, para que sejam atingidos os objetivos propostos. Por outro lado, deve-se considerar que, além da complexidade da diversidade florística das florestas tropicais amazônicas, existem outros elementos importantes que devem fazer



parte da estrutura de um inventário florestal direcionado à elaboração de planos de manejo de florestas (QUEIROZ, 2012).

Cunha (2004) enfatiza que os inventários florestais são importantes ferramentas utilizadas no diagnóstico do potencial produtivo ou protetivo de florestas. É através dos resultados dos inventários florestais que se apoiam decisões importantes acerca da viabilidade de empreendimentos florestais, que exigem investimentos altos.

De acordo com Husch *et al.* (2003), os inventários florestais são procedimentos para obter informações sobre quantidades e qualidades dos recursos florestais. Embora existam inúmeros procedimentos, um inventário florestal completo pode fornecer diversas informações, entre elas: estimativas de produção de madeira da área, descrição da topografia, mapeamento da propriedade, descrição de acessos, facilidade de transporte da madeira, estimativas da quantidade e da qualidade de diferentes recursos florestais, estimativas de crescimento.

Informações adicionais sobre fauna, recursos hídricos, entre outras, podem ser coletadas, quando necessárias. A ênfase sobre determinado elemento no inventário florestal será maior ou menor, em função dos seus objetivos (SOARES *et al.*, 2012).

Segundo Morais Filho *et al.* (2003), os estudos de inventário florestal devem sempre ser balizados por parâmetros estatísticos que definem a precisão requerida para os resultados obtidos. Estes parâmetros estão condicionados por indicadores estatísticos, tais como variância, desvio padrão e coeficiente de variação.

De acordo com Soares *et al.* (2012) existem vários tipos de inventário, os quais normalmente definidos pelo seu objetivo. Entre os mais comuns pode-se destacar:

- Inventário pré-corte: realizado antes da exploração, com alta intensidade amostral.
- Inventário florestal convencional: realizado para obtenção do estoque de volume de madeira.
- Inventário contínuo: realizado com o objetivo de verificar as mudanças ocorridas em uma floresta, em determinado período de tempo.

- Inventário para planos de manejo: realizado com alto grau de detalhamento, chegando às estimativas por classe de diâmetro, por espécie.
- Inventário de sobrevivência: realizado após plantio, com o objetivo de verificar o percentual de falhas das mudas de campo.

De forma genérica, os inventários florestais podem ser classificados quanto à forma de coleta de dados, quanto à abordagem da população no tempo e quanto ao detalhamento. Em relação à forma de coleta de dados podem ser divididos em censo, que são observados todos os indivíduos, e em amostragem, que é observado somente uma parte da população. Quanto a abordagem da população no tempo os inventários podem ser divididos em temporários que são realizados apenas uma vez e em contínuos que são realizados várias vezes. Em relação ao detalhamento o inventário pode ser dividido em exploratório, que se caracteriza pela coleta mínima de dados e em inventário de reconhecimento, que tem como objetivo determinar a composição florística e o potencial madeireiro e em detalhado que se caracteriza pela obtenção com precisão das informações até o nível de classe diamétrica (SOARES *et al.*, 2012).

Segundo Morais Filho *et al.* (2003) pode-se definir quatro grandes grupos da estatística que são utilizados no setor florestal para inventários florestais, em primeiro lugar tem-se a estatística descritiva, utilizada para demonstrar as situações do setor através de gráficos e tabelas, orientando gestores nos processos administrativos; a estatística experimental, muito utilizada nas culturas agrícolas para confirmar e validar os resultados dos experimentos realizados, desde a produção de mudas, diversas técnicas de manejos e diferentes métodos de colheita; a modelagem visando construir, principalmente equações de volume, utilizadas para quantificar variáveis de difícil predição e por fim o inventário florestal, com caráter de determinar o potencial de diferentes seguimentos do setor florestal, baseado nos princípios e métodos de representação da população por técnicas de amostragem.

De acordo com Brena (1995) os inventários florestais são divididos em três categorias básicas: fins operacionais, fins de manejo e inventário nacional. Os inventários para fins operacionais e para fins de manejo objetivam elaborar planos de ação de curto e longo prazo e são realizados para o manejo de

propriedades florestais específicas. Os inventários nacionais objetivam estabelecer políticas florestais, portanto, se torna um instrumento para tomada de decisões relativas ao uso do solo e manejo, a nível nacional e regional.

Ainda Morais Filho (2003) relata que dentre os principais motivos da realização de um processo de inventário, pode-se citar os seguintes aspectos: determinar o potencial produtivo da floresta, mapear fatores bióticos e abióticos que influenciam a produção da floresta, determinar os custos de produção no caso de florestas plantadas e definir estratégias de manejo para obter uma produção sustentada.

### 3.2 História do Inventário Florestal no Brasil

Para Rollet e Queiroz (1978) os dois maiores inventários florestais de reconhecimento realizados na Amazônia brasileira são os da FOOD AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO) (1956-1961) e os do Projeto RADAMBRASIL (1968-1977).

O programa FAO foi dedicado, principalmente, ao estudo de uma região situada ao sul do rio Amazonas, entre os rios madeira e capim, em uma faixa de 150 km de largura por 1.500 Km de comprimento, em direção oeste leste, tendo sido estudadas 1.388 unidades de amostra de 1 ha, tendo a abertura de 4.225 Km de transectos, abrangendo enumeração de 155.001 árvores, resultando em média de 110 árvores por ha. As árvores inventariadas foram de diâmetro a altura do peito acima de 25 cm. O projeto RADAMBRASIL abrangeu toda bacia amazônica brasileira com mais de 2.000 ha levantados (ROLLET E QUEIROZ, 1978).

Segundo SFB (2015) na década de 1980 o Brasil realizou a primeira e única edição de um inventário florestal nacional, cujo objetivo principal era gerar informações sobre os estoques de madeira de florestas naturais e plantadas. Até aquela época a maioria dos inventários florestais nacionais tinha como principal foco a produção de madeira.

Desde então, apenas inventários regionais foram realizados no país, para atender demandas particulares de informações e subsidiar programas de colonização ou planejamento (SFB, 2015).

Mais recentemente, com o reconhecimento da floresta em seus múltiplos usos para a produção de bens e serviços ambientais e sociais e o surgimento de novas tecnologias, alguns estados brasileiros tomaram a iniciativa de realizar os seus inventários florestais estaduais, como é o caso do Rio Grande do Sul, São Paulo, Minas Gerais e Santa Catarina. Apesar da iniciativa dos estados ser positiva, para um país com a dimensão e características do Brasil a alternativa mais apropriada é produzir informações sobre suas florestas utilizando um sistema de abrangência nacional (SFB, 2015).

### 3.3 Censo ou Inventário 100%

A literatura sobre inventário florestal descreve o censo ou inventário 100% como sendo apropriado para pequenas áreas florestadas ou áreas com pequeno número de indivíduos, uma vez que a medição de muitos indivíduos (árvores) constitui atividade com grande dispêndio de tempo e com um custo muito elevado (SOARES *et al.*, 2012).

Informações qualitativas e quantitativas de povoamentos florestais podem ser obtidos através da medição de todas as árvores da floresta, ou pela mensuração das árvores de pequenos compartimentos distribuídos sobre a área. O primeiro caso envolve a completa enumeração ou o inventário florestal de 100% dos indivíduos, enquanto que o segundo caso refere-se ao uso de técnicas de amostragem (MACHADO, 1988).

Como geralmente as populações florestais são extensas Cunha (2004) relata que o inventário 100% torna-se difícil e bastante oneroso. Ainda o mesmo autor ressalva que é uma prática adotada em inventários pré-exploratórios, visando a produção de mapas das espécies a serem exploradas e a serem deixadas para cortes futuros e ainda este tipo de inventário é um dos requisitos indispensáveis ao planejamento de estradas, trilhas de arraste, locação de pátios e seleção das árvores destinadas ao corte.

De acordo com Figueiredo Filho (1999), o censo florestal é uma técnica já tradicional no estudo da dinâmica e da análise estrutural da floresta, visto que a metodologia proporciona conhecimento total da população e a possibilidade da realização de estudos aprofundados das espécies florestais.

Bonetes (2006) salienta que a utilização do censo florestal ou completa enumeração dos indivíduos apresenta alto custo e necessita de um grande tempo de execução.

Os inventários por censo, devido ao seu alto custo e o tempo necessário à sua realização, só se justificam nas avaliações de populações pequenas, de grande importância econômica, ou em trabalhos de pesquisa científica, cujos resultados exigem exatidão (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997 e MACHADO 1988).

A partir da publicação da instrução normativa nº4, de março de 2002, pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renovável (IBAMA), o inventário 100% com mapeamento das árvores é uma operação obrigatória nos planos de manejo florestal na Amazônia independente da área da floresta. Os dados obtidos do inventário 100% juntamente com o mapeamento das árvores, em coordenadas UTM, integrados e processados em um sistema de informação geográfica (SIG), geram mapas com a localização das árvores, a infraestrutura e o acesso à área, respectivamente. O uso desta tecnologia permite maior controle sobre as informações o que apoiará as decisões de intervenções futuras na floresta (SOARES *et al.*, 2012).

### 3.4 Tipos de Amostragem

Segundo Cunha (2004) nos levantamentos florestais, é prática usual selecionar uma ou mais amostras que consiste em pequenas frações da população que se deseja obter a informação. O verdadeiro valor de uma característica ou variável é denominado parâmetro. Entretanto, através da observação de um número de unidades amostrais pode-se estimar sua estatística correspondente. Vale lembrar que quaisquer estimativas dos parâmetros estão sujeitas a erros de amostragem, oriundos de procedimentos de seleção e operação das unidades amostrais.

De acordo com Queiroz (2012) do ponto de vista estatístico uma população é o conjunto de todos os indivíduos, elementos ou unidade sobre os quais deseja desenvolver estudos visando conhecer determinadas características. Quando somente uma parte dos elementos ou unidade é

selecionada para o procedimento das análises, tem-se o que se denomina de amostra.

O sucesso do inventário florestal realizado por amostragem, também se encontra intimamente ligado a definição correta do procedimento de amostragem a ser adotado, do tamanho e forma das unidades amostrais a serem lançadas e da intensidade amostral. Esses aspectos estão associados às características da população alvo e devem ser cuidadosamente analisados pelo pesquisador (SÉ, 2012).

#### 3.4.1 Amostragem simples ao acaso ou aleatória

Queiroz (2012) relata que o método de amostragem simples ao acaso ou amostragem inteiramente casualizada, é o mais tradicional procedimento de amostragem em florestas tropicais. A amostragem simples ao acaso baseia-se num processo estritamente aleatório que são selecionadas as unidades amostrais com igual probabilidade ( $1/N$ ), em que  $N$  é o número total de unidades que compõem o espaço amostral, ou seja, a população amostrada.

Soares *et al.* (2012) descrevem que a amostragem casual simples é um método básico de seleção probabilística em que, na seleção de uma amostra composta de  $N$  unidade de amostra, todas as possíveis combinações das  $N$  unidades teriam as mesmas chances de serem selecionadas. Os outros procedimentos de seleção são modificações deste elaborados com a finalidade de se conseguir maior economia e precisão.

Segundo Moraes Filho *et al.* (2003) este tipo de amostragem é o mais utilizado no setor florestal de florestas plantadas, para estimar volume de madeira das florestas. Mesmo em se tratando de inventário contínuo as amostras são determinadas inicialmente por este método.

Cunha (2004) destaca que uma amostra aleatória simples é selecionada de uma população, considerando que cada indivíduo da população tem a mesma chance de ser sorteado como elemento da amostra, ou seja, cada elemento tem a mesma chance de ser escolhido independente dos demais. É um método bastante eficiente em termos de cálculos das estimativas por apresentar um nível de erro aceitável. A maior desvantagem é o caminhamento entre as unidades de amostras, em virtude da possibilidade do sorteio, fazer

com que as amostras apresentem uma distribuição bastante irregular das amostras no interior da área de trabalho. É um método indicado para pequenas áreas com características mais ou menos homogêneas.

### 3.4.2 Amostragem sistemática

Segundo Loetsch *et al.* (1973) a amostragem sistemática consiste em selecionar unidades de amostra a partir de um esquema rígido e preestabelecido de sistematização, com os propósitos de cobrir a população, em toda sua extensão, e obter um modelo sistemático simples e uniforme.

A amostragem sistemática é bastante utilizada em levantamentos florestais, principalmente pela praticidade e rapidez na coleta de dados, com reflexos positivos sobre os custos finais para obtenção dos dados. Os trabalhos de campo são simplificados, os custos são reduzidos e obtém-se alta precisão. É um método indicado principalmente quando os elementos amostrais são heterogêneos (CUNHA, 2004).

Esse tipo de amostragem apresenta algumas vantagens em relação à amostragem simples ao acaso: a seleção das unidades amostrais é mais fácil e mais rápida; a organização, a supervisão e a checagem de algumas unidades de amostra se tornam operacionalmente mais rápidas; as unidades da amostra sistemática se distribuem mais uniformemente na população originando uma maior representatividade, tornando-se mais eficiente quando existe qualquer tendência ou concentração de certas características. A grande desvantagem da amostra sistemática ocorre quando a população apresenta dados com características cíclicas ou periódicas, por correr o risco da amostragem refletir homogeneidade numa condição sabidamente heterogênea (QUEIROZ, 2012).

Queiroz (2012) ressalta ainda que a amostragem sistemática apresenta uma diferença marcante com relação à amostragem simples ao acaso, no que tange ao número de amostras possíveis, ou seja, teoricamente uma amostra sistemática não pode ser analisada como se fosse uma amostra simples ao acaso.

### 3.4.3 Amostragem estratificada

Em inventários florestais, a amostragem estratificada é recomendável para o estudo de populações florestais que apresentem heterogeneidade entre as subpopulações com referência a variável de interesse. Neste caso, a estratificação pode propiciar um aumento no grau de precisão do inventário, ele torna possível subdividir uma população heterogênea em estratos que, individualmente, sejam homogêneos, resultado ganho em eficiência e diminuição dos custos (QUEIROZ, 2012).

Conforme Soares *et al.* (2012) a amostragem casual estratificada consiste na divisão da população em subpopulações mais homogêneas em termos de distribuição da característica de interesse, denominadas estrato, dentro dos quais se realiza a distribuição das unidades de amostra de forma casual (aleatória). Ainda os mesmo autores afirmam que em se tratando de inventário florestal, a amostragem estratificada será mais eficiente, se a variabilidade dentro de cada estrato for menor que aquela, considerando-se a população toda.

Para Queiroz (2012) a determinação dos estratos é feita em função das características peculiares da população florestal, onde, em muitos casos os estratos já estão fisicamente definidos, como no caso de povoamentos florestais plantados com talhões de diferentes idades. Por outro lado existem casos em que a delimitação dos estratos (tipos florestais) só é possível através de levantamentos aerofotogramétricos. O processo para obter os estratos denomina-se estratificação e a amostra é dita estratificada. Denomina-se amostra acidental estratificada quando são selecionadas amostras inteiramente ao acaso nos estratos.

A estratificação é determinada pela subdivisão da floresta em estratos com base em alguns critérios, como: características topográficas, tipos florestais, espécies ou clones, espaçamento, volume, altura, idade, classe de sítio entre outros (SOARES *et al.*, 2012).



### 3.5 Biomassa

Segundo Odum (1986), biomassa pode ser definida como a massa orgânica produzida por unidade de área, podendo ser expressa em peso de matéria seca, peso de matéria úmida ou peso de carbono.

Sua medição é um instrumento útil na avaliação de ecossistemas, em virtude da aplicação na análise da produtividade, conversão de energia, ciclagem de nutrientes e absorção e armazenagem de energia solar, entre outros (CAMPOS, 1991; PEREIRA, 1997).

As quantidades de biomassa e carbono presentes na parte aérea e sistema radicular de uma árvore podem ser obtidas através do método destrutivo ou do método indireto. O método destrutivo consiste na derrubada de árvores-amostra para obtenção dos dados necessários para se ter a biomassa real do indivíduo selecionado. Já o método indireto é utilizado preferencialmente para facilitar o trabalho de campo e diminuir o custo de coleta de dados, para isso são empregados modelos de regressão, lineares ou não lineares, cujas variáveis independentes são as características diretamente mensuráveis das árvores-amostradas (diâmetro e altura) e as variáveis dependentes, a biomassa expressa pelo peso de matéria seca dos seus componentes e a quantidade de carbono (SALATI, 1994; SANQUETTA, *et al.*, 2002).

Para estimar a biomassa de árvores individuais, segundo Campos e Valente (1993), as variáveis independentes mais utilizadas nos modelos são o diâmetro com casca a 1,30 m (DAP), a altura total e o volume. Outras variáveis são ocasionalmente utilizadas, como idade, índice de local e largura da copa. Essas variáveis não são suficientes para estimar a biomassa dos componentes de copa e diâmetro do tronco na sua base, uma vez que este último está muito relacionado à resistência requerida para suportar o peso da copa da árvore.

A dimensão do estoque de biomassa é uma informação valiosa, dentre suas aplicações pode citar a estimativa do fluxo de carbono liberado por mudanças de uso do solo, a estimativa da biomassa como recurso importante para diversas atividades humanas e o monitoramento auxiliar da fitossanidade, degradação e perturbações diversas (MARTINS *et al.*, 2011).

Segundo Campos (1991) o acúmulo de biomassa é influenciado por todos aqueles fatores que afetam a fotossíntese e a respiração, a exemplo luz, temperatura, concentração de CO<sup>2</sup> do ar, umidade e fertilidade do solo.

A avaliação do potencial produtivo de um sítio ou local, por meio da produção da biomassa, é fundamental no manejo e planejamento das indústrias de base florestal, especialmente quando se tem conhecimento da distribuição de biomassa nos componentes de árvore em sequência de idade (REIS, 1985; PEREIRA, 1990).

De acordo com Brown e Lugo (1992), dois aspectos sobre a biomassa das florestas são críticos no que se refere a modelos de fluxo terrestre de carbono nas florestas tropicais. O primeiro diz respeito à biomassa total que inclui a biomassa acima do solo e biomassa viva abaixo do solo, além daquela morta. O segundo aspecto considera a resposta de todos estes elementos a retirada da floresta e regeneração e como eles devem estar representados em um modelo. A maior parte das pesquisas relativas à estimativa de biomassa tem focado no componente “árvore” da floresta, já que este representa a maior fração da biomassa total, suas respostas aos processos de retirada e crescimento estão razoavelmente bem compreendidos para os propósitos dos modelos e ainda, os inventários florestais geralmente dão informações apenas para este componente.

### 3.6 Perfilhamento a Laser (LIDAR - *Light Detection and Ranging*)

Giongo *et al.* (2010) conceituam que LIDAR é a sigla utilizada para *Light Detection and Ranging*, é um termo que designa uma tecnologia de sensoriamento remoto. Em português é usada a terminologia de sistema de varredura a laser ou perfilhamento a laser que é baseado nos mesmos princípios empregados no sistema de radar, com a diferença de que, ao invés do uso de ondas de rádio para localizar os objetos de interesse, o sistema LIDAR utiliza pulsos lasers.

Schawlow e Townes (1958), pela primeira vez, estabeleceram a teoria para obter a amplificação de luz por emissão estimulada de radiação (laser) com base nos fundamentos estabelecidos por Einstein em 1917. Nas décadas de 1960 e 1970, várias experiências demonstraram o poder de utilização do

laser em sensoriamento remoto, incluindo diversas aplicações, como monitoramento atmosférico e estudos oceanográficos.

Giongo *et al.* (2010) descrevem que durante a década de 1980, o laser passou a ser utilizado na medição de distâncias, sendo implementados instrumentos como o NASA's *atmospheric oceanographic* LIDAR (AOL) e *airborne topographic mapper* (ATM) (FLOOD, 2001).

Na década de 1990, foram desenvolvidos sensores mais confiáveis, como *Shuttle Laser Altimeter* (SLA) e o *Mars Observer Laser Altimeter* (MOLA) empregados para medidas em extensas áreas da superfície terrestre e dos oceanos (SMITH *et al.*, 1993).

Giongo *et al.* (2010) relatam que a tecnologia LIDAR foi inicialmente utilizada em levantamentos de dados para elaboração de Modelos Digitais de Elevação (MDE), em que os métodos tradicionais não eram suficientes, principalmente em áreas de difícil acesso.

A evolução das técnicas de georreferenciamento, conjuntamente com o aperfeiçoamento dos lasers scanners, permitiu que o processamento da nuvem de pontos do LIDAR alcançasse precisão submétrica, possibilitando seu uso na engenharia civil, geologia, agronomia, topografia, engenharia florestal e em muitas áreas do conhecimento (D'OLIVEIRA *et al.*, 2014).

Segundo Sarmiento (2010) o perfilhamento a laser é amplamente utilizado no mapeamento de objetos elevados, como árvores e edifícios. Consiste num sensor que mede o tempo de ida e volta da energia de um pulso laser entre o sensor e o alvo, esse pulso incidente de energia interage com a copa da árvore (folhas, galhos, e tronco) e a superfície do solo, retornando-o ao instrumento. O intervalo de tempo do movimento do pulso, do início até ao seu retorno ao sensor é medido, fornecendo a distância entre o instrumento e o objeto.

Segundo Giongo *et al.* (2010), o sistema LIDAR apresenta sua própria fonte de energia, neste caso, uma fonte de luz, o laser, a qual emite radiação eletromagnética em ondas curtas (1-10  $\mu\text{m}$ ), sendo sensível às perturbações atmosféricas. É considerado um método direto na captura de dados classificado como um sensor ativo.

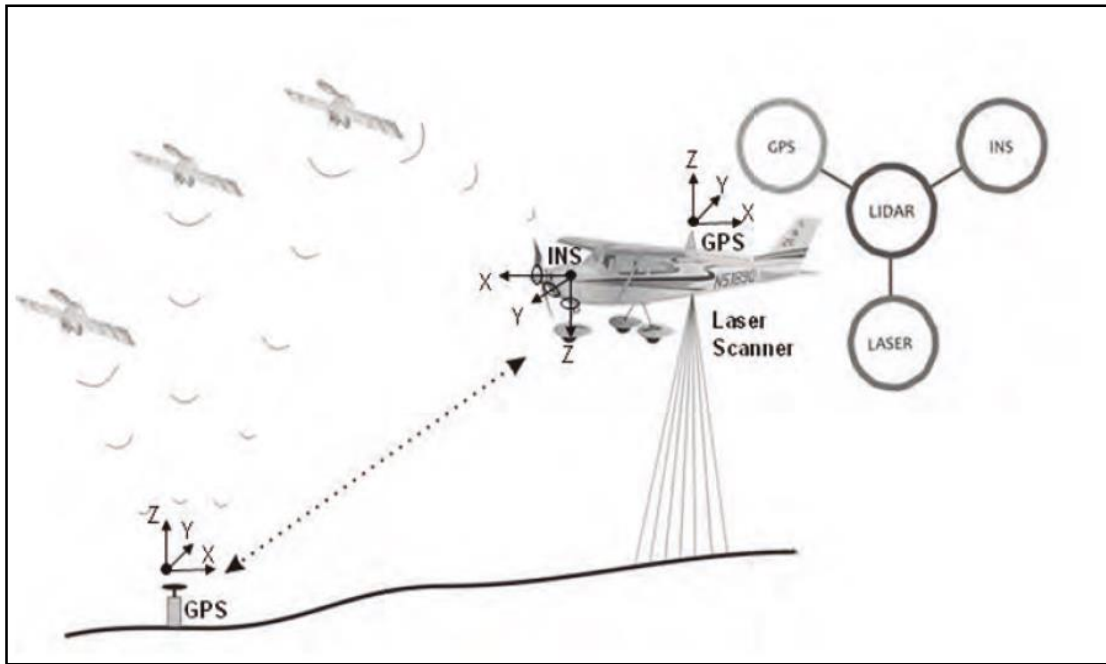
Uma vantagem dos sensores de varredura a laser em relação aos clássicos sensores passivos (fotografias aéreas e imagens de satélite) é que os

scanners a laser não dependem do sol como uma fonte de iluminação. Sendo assim, a análise dos dados não é prejudicada por sombras causadas por nuvens ou objetos vizinhos. Outra característica importante deste sensor é que os pulsos de laser podem penetrar por pequenas aberturas no dossel da floresta e fornecer informações sobre a estrutura florestal e também o relevo destas áreas (GIONGO *et al.*, 2010).

No sistema LIDAR aerotransportado, um determinado local recebe pulsos laser em ângulos diferentes resultando na possibilidade de se efetuar modelagens tridimensionais e observáveis sob diversos ângulos, no formato de “maquete eletrônica” facilitando o entendimento das estruturas vertical e horizontal em qualquer das seções desejadas (BANTEL, 2007).

O sistema ALS (Airborne Laser Scanner) é composto por um sensor laser que essencialmente registra o tempo entre o sinal emitido e recebido de um determinado ponto, um Sistema Inercial de Navegação (INS – Inertial Navigation System) e um receptor GPS em uma plataforma aerotransportada. Em terra, é necessária uma rede de GPS que trabalhe de forma conjunta ao GPS instalado na plataforma (GIONGO *et al.*, 2010).

Silva (2014) relata que os equipamentos que compõem um sistema ALS são: uma unidade de emissão e recebimento a laser acoplado à aeronave, duas unidades de posicionamento global (GPS) uma no avião e outra no solo, um sensor inercial acoplado à unidade laser para mensuração de movimentos do avião: rolamento, arfada e guinada e um computador para controlar e armazenar os dados do levantamento (Figura 1).



Fonte: Giongo *et al.*, (2010).

Figura 1 – Sistema de perfilhamento a laser com seus quatro componentes principais: I) Par de receptores GPS; II) Sistema inercial de navegação; III) Pulsor laser de alta frequência e IV) Computador para processamento e armazenamento de dados.

## 4. Material e Métodos

### 4.1 Área de estudo

A área de reserva florestal da Embrapa-Acre possui 800 ha e faz fronteira com duas propriedades onde existem pastagens formadas. Eventualmente, esta área sofre a influência do fogo devido a queimadas nessas pastagens. O solo predominante é o Podzólico Vermelho-Escuro com alta porcentagem de argila. O clima é do tipo Am (classificação de Koppen), ou seja, clima quente e úmido de monções, com uma estação seca bem diferenciada entre os meses de junho e outubro. A hidrografia é representada pelo igarapé Forquilha que corta a área diagonalmente, formando uma série de afluentes, na sua maioria temporários. Devido à topografia plana, o igarapé forma inúmeros meandros, que tomam o seu traçado bastante complexo (Figura 2).

A floresta é predominantemente aberta com presença de tabocas (*Quadua* sp.) podendo-se identificar quatro tipos de formações florestais: floresta densa, floresta aberta com tabocas, tabocal e capoeira (Figura 3A). A floresta como um todo apresenta características comuns às florestas do resto do Estado (D'OLIVEIRA *et al.*, 1994).

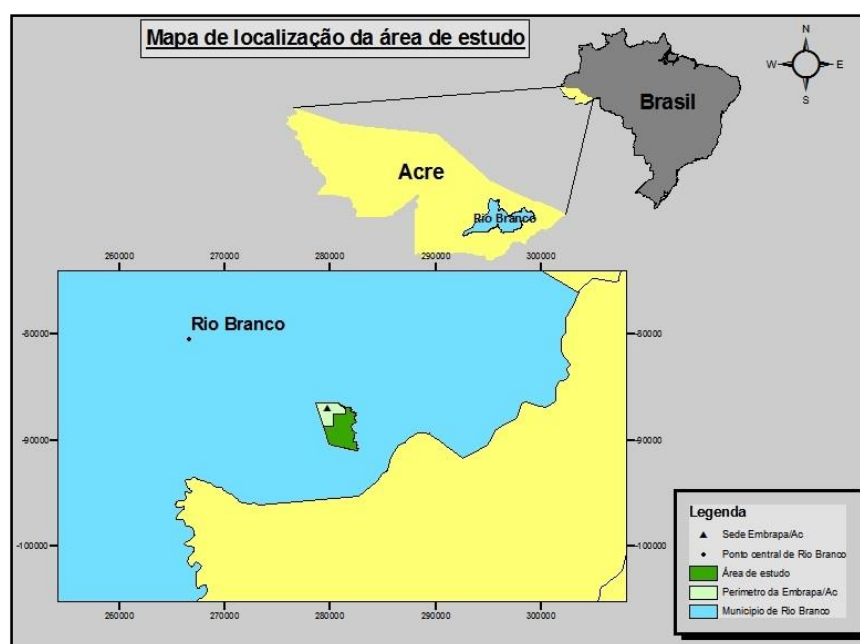


Figura 2 - Área de estudo de 800 ha no campo experimental da Embrapa Acre que está localizada no Km 14 da BR 364.

#### 4.2 Coleta dos Dados

A coleta de dados foi feita a partir de um inventário censitário na área de estudo, nesse inventário foram inventariadas todas as árvores vivas, com diâmetro a altura do peito acima de 30 cm, sendo todas as árvores georreferenciadas por meio de GPS de navegação (Garmin 76 CSx) pelo sistema de projeção WGS (1984). O inventário faz parte de uma das atividades de um projeto de pesquisa da Embrapa/AC, para o estabelecimento de uma unidade demonstrativa de manejo florestal de precisão na área.

A medição do DAP foi feita à altura de 1,30 m com uma fita diamétrica. A avaliação da qualidade do fuste foi feito pelo seguinte critério:

Qualidade do fuste (QF):

- I) Fuste reto (100% de aproveitamento);
- II) Fuste tortuoso (Pelo menos uma tora aproveitável);
- III) Fuste sem aproveitamento comercial.

#### 4.3 Distribuição das parcelas

As parcelas foram distribuídas digitalmente na forma de quadrado através do programa Arc GIS 10, fazendo uma simulação de instalação com 3 dimensões diferentes sendo de 20mx20m (400 m<sup>2</sup>), 50mx50m (2.500 m<sup>2</sup>) e 100mx100m (10.000m<sup>2</sup>) em quatro intensidades amostrais: 0,5%, 1%, 5% e 10% da área total (Tabela 1).

Tabela 1 - Número de parcelas sorteadas para cada intensidade amostral para os três tamanhos diferentes tamanhos de parcela.

Tratamento	Intensidade			
	Amostral (%)	N 20mx20 m	N 50mx50 m	N 100mx100 m
Aleatório/Sistemático	0,5	99	15	4
Aleatório/Sistemático	1	198	30	7
Aleatório/Sistemático	5	991	148	37
Aleatório/Sistemático	10	1981	296	73

O sorteio e distribuição das parcelas foram feitos por meio de grides nas mesmas dimensões 20mx20m, 50mx50m e 100mx100m, projetados sobre a área de estudo. As parcelas definidas pelos grides (Figura 3C) parcialmente

fora da área de estudo foram removidas por meio da ferramenta Clip (FIGURA 3D) (Arc GIS 10> ArctoolBox > Analysis Tools > Extract > Clip). Posteriormente foi feito a transformação dos grides em polígono (ArctoolBox> Data Management Tolls > Features > Feature to Polygon).

O sorteio das parcelas foi realizado por meio da ferramenta Hawthstools do Arc Gis 10 (Hawthstools >Sampling tools > Generate Ramdom Points) para parcelas aleatórias e (Hawthstools >Sampling tools > Generate Regular Points) para parcelas sistemáticas.

A ferramenta Hawthstools do Arc GIS 10 lança pontos sobre o gride simulando o sorteio das parcelas (Figura 3E). Logo após o sorteio as parcelas selecionadas são exportadas para um novo arquivo tipo *shape* por meio do comando *Export data* (Figura 3F).

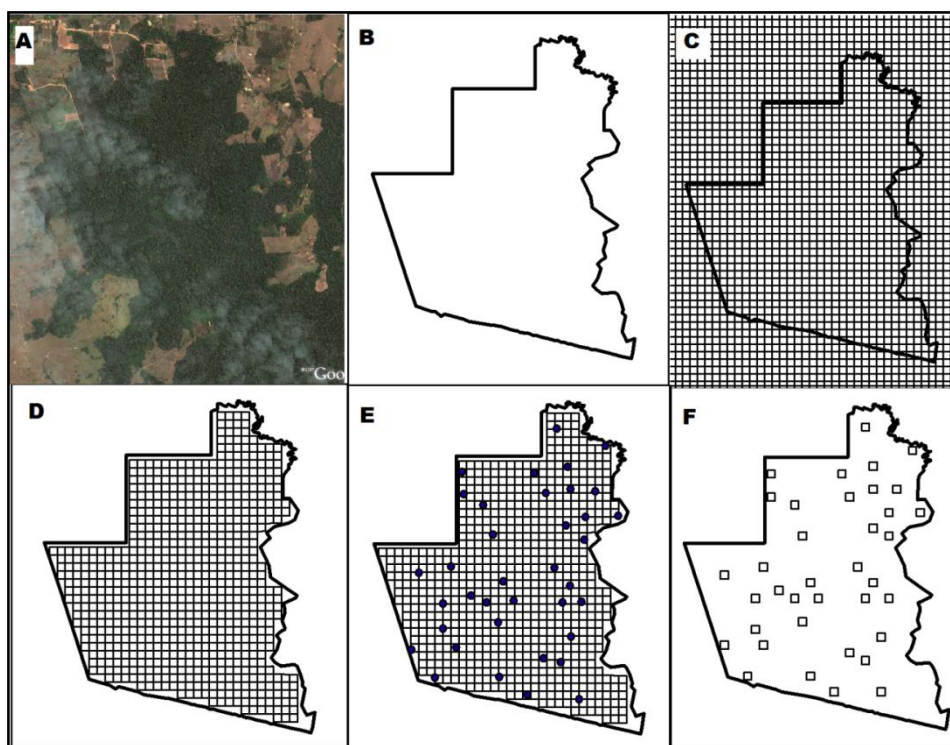


Figura 3 – Sequência utilizada par sortear e distribuir as parcelas na área de estudo. A) Delimitação da área de estudo por meio da utilização de imagens de satélite Rapid eye (Google Earth); B) Confecção do polígono da área sobre as imagens de satélite; C) Distribuição do Grid sobre toda a área de estudo; D) Clip da área do gride dentro da área de estudo; E) Sorteio das parcelas para os métodos de amostragens e intensidades amostrais estudadas; F) Parcelas sorteadas distribuídas sobre a área de estudo.



No sorteio das parcelas aleatórias, para evitar que parcelas adjacentes fossem sorteadas, foi utilizada uma distância mínima entre os pontos equivalente ao dobro do tamanho da parcela.

Após a exportação de todas as parcelas sorteadas, foi feita a intersecção dos dados do inventário total com os das parcelas sorteadas. Para intersecção foi utilizado a seguinte linha de comando (ArctoolBox >Analysis Tools > Overlay > Intersect), nessa linha de comando é colocada a parcela e o inventário total, fazendo assim que seja selecionada só as árvores dentro da parcela, tendo com isso o arranjo para cada intensidade amostral.

As parcelas foram “virtualmente amostradas” devido ao tamanho da área de estudo e a falta de tempo e recursos para se instalação física de todos os tratamentos previstos no período da pesquisa. O objetivo de se utilizar diferentes tamanhos de parcela e intensidade amostral foi estudar a variação das estimativas de biomassa em função desses parâmetros.

No trabalho assume-se que a inclusão de árvores nas parcelas pelo erro da obtenção do seu posicionamento por GPS de navegação, será compensado pelas árvores excluídas das parcelas pela mesma razão.

#### 4.4 Amostragem Aleatória

O método de amostragem simples ao acaso ou amostra inteiramente casualizada (Figura 4A), é o mais tradicional procedimento da amostragem. A amostra simples ao acaso baseia-se num processo estritamente aleatório em que as unidades amostrais são selecionadas com igual probabilidade ( $1/N$ ), em que  $N$  é o número total de unidades que compõem o espaço amostral, ou seja, a população amostrada (QUEIROZ, 2012).

#### 4.5 Amostragem Sistemática

O método de amostragem sistemática (Figura 4B) consiste em sortear uma unidade da população e, a partir dela, constituir uma amostra de tamanho  $n$ , selecionar as unidades que ocupam de forma sequencial as posições múltiplas de um determinado valor  $K=N/n$  pré-estabelecido, onde  $N$  é o número de unidades total da população (QUEIROZ, 2012).

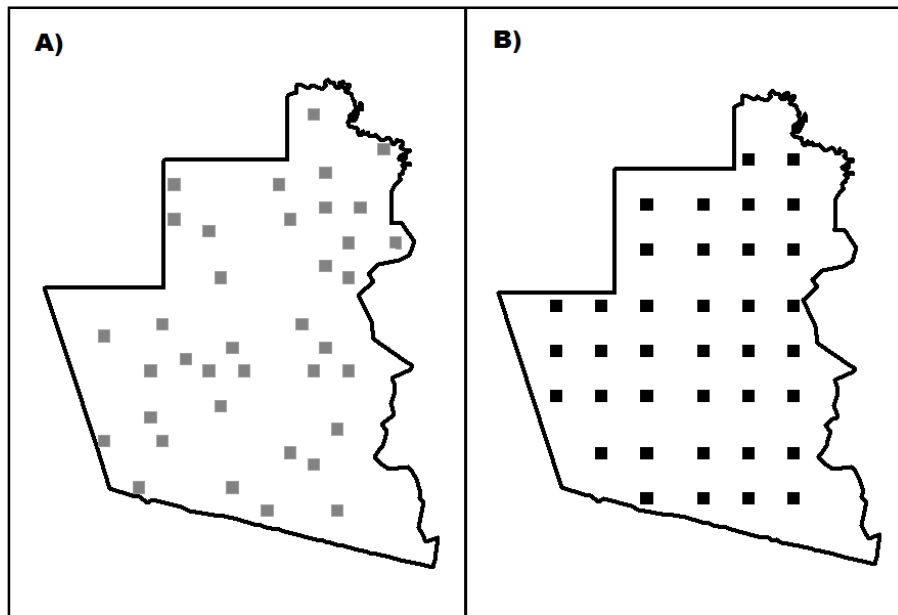


Figura 4 – Demonstração da diferença de distribuição das parcelas nos métodos de amostragem aleatório (A) e sistemático (B) utilizando parcelas de 50mx50m.

#### 4.6 Cálculo da biomassa

A biomassa foi calculada como sugerido por Nogueira (2008) pela fórmula:

$$BS = \frac{\text{EXP}(-1,716 + 2,413 \cdot \text{LN}(\text{DAP}))}{1000} \quad (1)$$

Onde:

BS = Biomassa seca acima do solo; ( $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ )

DAP = Diâmetro a altura do peito; (cm)

#### 4.7 Análise estatística do inventário florestal

No presente trabalho, os seguintes parâmetros estatísticos foram utilizados para analisar os dados do inventário florestal:

Média: Ponto comum entre todos os indivíduos.

$$\mu = \frac{\sum y}{n}$$
(2)

Onde:

$\mu$  = Média da biomassa; (Mg.ha<sup>-1</sup>)

n = Número de indivíduos.

Variância: Medida da dispersão estatística que indica quão distante em geral os seus valores se encontram do valor esperado. A unidade de variância é o quadrado da unidade de observação. A variância foi calculada pela fórmula:

$$S_y^2 = \frac{[\sum y^2 - (\sum y)^2]}{n-1}$$
(3)

Onde:

$S_y^2$  = Símbolo da variância da média; (Mg.ha<sup>-1</sup>)<sup>2</sup>

$y^2$  = Biomassa média ao quadrado; (Mg.ha<sup>-1</sup>);

$\sum y^2$  = Somatório do quadrado da biomassa; (Mg.ha<sup>-1</sup>)

$(\sum y)$  = Somatório da biomassa; (Mg.ha<sup>-1</sup>)

N = número de parcelas;

Desvio padrão da média: Expressa a dispersão dos valores observados individualmente em torno da média. A fórmula usada foi a seguinte:

$$S_y = \sqrt{S_y^2}$$
(4)

Onde:

$S_y$  = Desvio Padrão da média da biomassa; (Mg.ha<sup>-1</sup>)

$S_y^2$  = Variância da média da biomassa; (Mg.ha<sup>-1</sup>)<sup>2</sup>

Coeficiente de variação: É uma medida de dispersão que é utilizada para comparar o grau de concentração em torno da média. A fórmula utilizada foi:

$$CV = \frac{S_y}{\mu} \times 100$$

(5)

Onde:

CV = Coeficiente de variação; (%)

$S_y$  = Desvio padrão; (Mg.ha<sup>-1</sup>)

$\mu$  = Média da biomassa; (Mg.ha<sup>-1</sup>)

Erro Padrão da média: Medida que expressa o grau de confiabilidade de uma estimativa da média. A fórmula usada foi:

$$S_y = \frac{S_y}{\sqrt{n}}$$

(6)

Onde:

$S_y$  = Erro padrão; (Mg.ha<sup>-1</sup>)

$S_y$  = Desvio padrão; (Mg.ha<sup>-1</sup>)

n = número de parcelas.

Intervalo de confiança: Define os limites dentro dos quais se espera encontrar o verdadeiro valor do parâmetro da população. A fórmula usada foi a seguinte:

$$IC = y \pm S_y \times t$$

(7)

Onde:

IC = Intervalo de confiança; (Mg.ha<sup>-1</sup>)

$\mu$  = média da biomassa; (Mg.ha<sup>-1</sup>)

$S_y$  = Erro padrão da média; (Mg.ha<sup>-1</sup>)

t = Valor definido pela tabela T (Student).

Número de parcelas necessárias: Parcelas necessárias para alcançar um erro aceitável estipulado.

$$N = \frac{t \times S_y^2}{E}$$
(8)

Onde:

$N$  = Número de parcelas necessárias;

$t$  = definido pela tabela T (student);

$S_y^2$  = Variância da média da biomassa;  $(\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1})^2$

$E$  = Erro aceitável da média na qual multiplica-se a média pelo erro aceitável.  $(\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1})$

A análise estatística foi feita por meio dos programas MiniTab 17 e SAS. A comparação das médias dos tratamentos foi feito pelo teste de Tukey, com probabilidade de 95% e 5% de erro.

#### 4.9 Aquisição e Processamento dos dados LIDAR

Os dados LIDAR foram adquiridos em outubro de 2015 pela empresa Foto Terra, que utilizou um Sensor LIDAR Harrier 68i da Trumble, com Sistema inercial Applanix (IMU+GPS), modelo POS AV 150 e uma Aeronave Cessna modelo 206 (Figura 5 e 6).

Em relação às especificações técnicas foi utilizada uma densidade média de pontos por metro quadrado de 5,5 pts/m<sup>2</sup>, o espaçamento entre os pontos no terreno foi de 0,43 x 0,43 m, a frequência de operação foi de 300 kHz, a velocidade do avião média foi de 55m/s, a altura média do voo foi de 597,44m e com uma taxa de produtividade de 198 Km<sup>2</sup>/hora.



Figura 5 – Sensor LIDAR Aerotransportado Harrier 68i instalado na aeronave Cessna-206.



Figura 6 – Aeronave Cessna-206 (PR-FOT), utilizada para fazer sobrevôo na área de estudos e coletar os dados LIDAR.

Os dados foram entregues brutos para realização da pesquisa. Como sugerido por d'Oliveira *et al.* (2014) os programas utilizados para o processamento dos dados LIDAR foram o MS-DOS, Bloco de Notas e Fusion. O processamento dos dados do LIDAR foi feito por meio do programa Fusion, que foi desenvolvido pelo serviço florestal Americano (MCGAUCHEY, 2010), usado para criar imagens de alta resolução e modelos digitais do terreno em 3D.

O MS-DOS serve para executar as linhas de comando do Fusion no ambiente *disk operating system* ou sistema operacional em disco (MS-DOS). Os produtos do Fusion foram obtidos por meio da execução de linhas de comando no ambiente DOS. Como essas linhas de comando podem ser muito longas e serão utilizadas diversas vezes, é possível salvá-las em arquivos tipo Batch (BAT.) para facilitar a manipulação dos dados e evitar erros de sintaxe. O bloco de notas foi utilizado para editar e salvar as linhas de comando que foram utilizadas no programa Fusion com a extensão BAT, permitindo a visualização e edição dos dados LIDAR em formato tridimensional.

Segundo d'Oliveira (2014) a acurácia dos modelos é fundamental para subsidiar qual intervenção na floresta. Os dados LIDAR são utilizados para modelagem de relevo definição de áreas de acesso restrito, modelagem dos cursos de água e definição da área de preservação permanente. No presente estudo foi gerado o modelo digital da superfície do terreno utilizando dados filtrados da superfície.

Na filtragem dos dados brutos foram utilizados somente os pontos LIDAR que atingiram a superfície do solo. O comando utilizado para filtragem foi o *groundfilter* executando a Linha de comando 1 (Anexo 1). Para construção do modelo digital do terreno a partir dos dados filtrados, foi utilizando o comando *gridsurfacecreate* executando a linha de comando 2 (Anexo 1).

As métricas e extrapolação dos dados para a área toda de estudo foram obtidas pelo comando `gridmetrics` executando a Linha de comando 3 (Anexo 1), utilizando o modelo digital do terreno como referência.

O `gridmetrics` gera arquivos CSV com todas as métricas extrapoladas para a área toda. Para fazer a exportação dessas métricas para o Arc Gis é necessário transformar os arquivos CSV em arquivo ASC utilizando as colunas de interesse para o cálculo da biomassa. A transformação foi feita pelo parâmetro `CSV2Grid` executando a Linha de Comando 4 (Anexo 1), utilizando a coluna p70 (altura média do sétimo decil) e a coluna p90 (altura média dos retornos do novo decil).

Os arquivos ASC gerados pela Linha de comando 4 foram exportados para o ArcGis e calculado a partir do raster calculator utilizando o arquivo ASC (Raster) da coluna p70 e coluna p90. O cálculo da biomassa para o raster foi feito a partir da ferramenta raster calculator do Arc Gis 10. A partir disso no Arc Gis 10 foi feita a transformação do raster para pontos (Arc gis > Arctoolbox > Conversion Tools > from Raster > Raster to Point).

O cálculo da biomassa com as métricas de elevação foi feito a partir do modelo (1) adaptado para árvores acima de 30 cm de d'Oliveira et al. (2014).

#### Modelo 1

$$BSA = -277,66748 + (7,99925 * P70) + (7,77239 * P90)$$

Onde:

BSA = Biomassa seca acima do solo em Mg.ha<sup>-1</sup>;

P70 = Altura média dos retornos no sétimo decil;

P90 = Altura média dos retornos no nono decil.

Para evitar a utilização de métricas inconsistentes produzidas por células parcialmente fora da cobertura LIDAR, foi produzido um polígono aproximadamente 25 metros menor do que a área de estudo (Figura 7). A área de estudo foi dividida, em quatro polígonos menores para viabilizar o processamento dos dados, pois quando se utiliza uma extensa área com uma grande quantidade de retornos inviabiliza o processamento dos dados por meio do comando `Gridmetrics` no programa Fusion que é de base DOS e tem acesso limitado à memória RAM do computador. Esse procedimento foi feito para os três tamanhos de parcelas (20mx20m, 50mx50m e 100mx100m). Foi utilizada a linha de comando 3 (Anexo 1) para executar o `gridmetrics`.



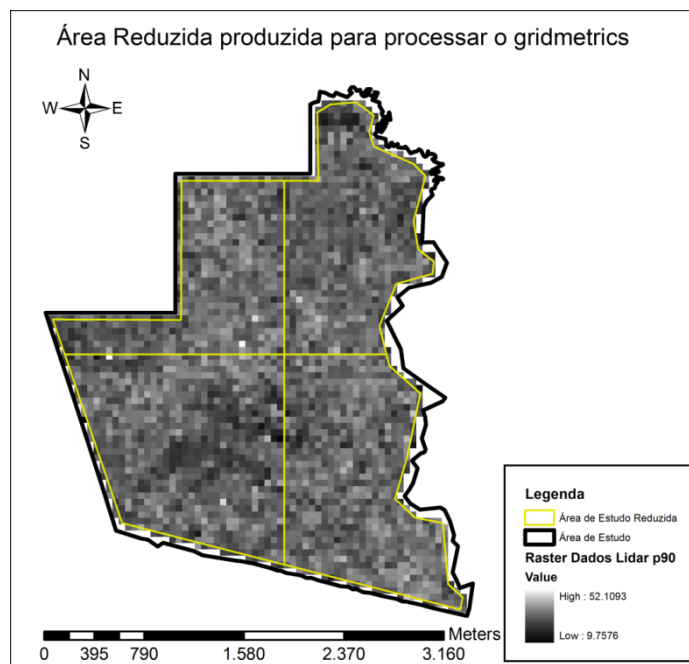


Figura 7 – Demonstração do polígono da área de estudo reduzida para evitar erro de inconsistência de parcelas produzidas parcialmente fora da amostragem feita pelo LIDAR.

Na Figura 8 apresenta-se um histograma com o resumo das etapas seguidas para o processamento dos dados LIDAR.

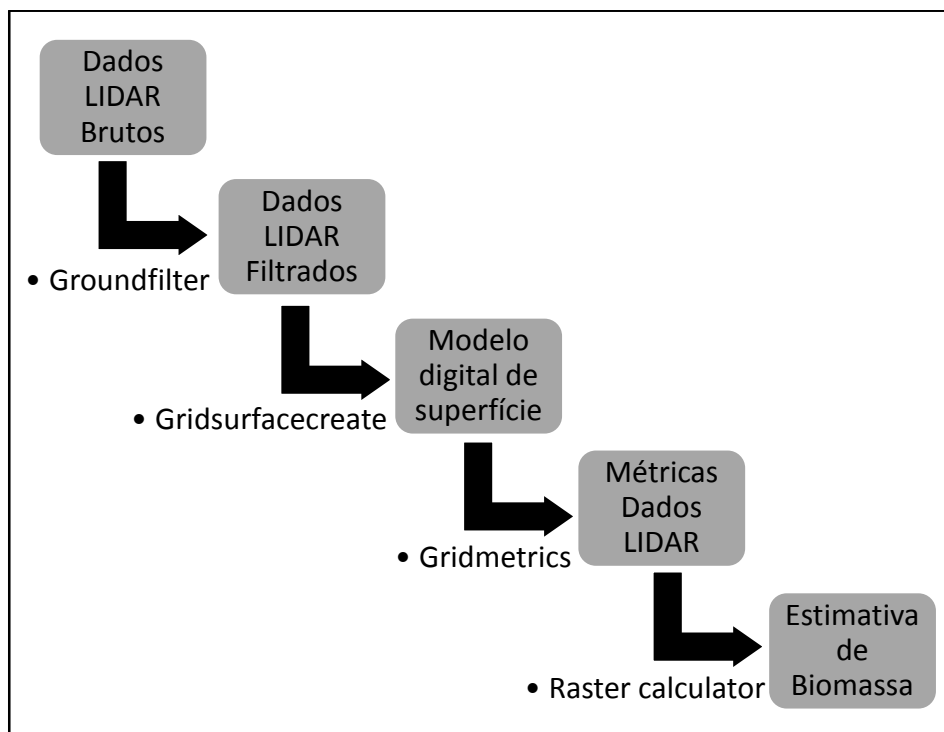


Figura 8 - Histograma com a sequência de processamento dos dados LIDAR.

#### 4.8 Elaboração e comparação dos mapas de predição de biomassa

Os mapas de predição foram produzidos a partir da ferramenta de interpolação vizinhos próximos (Arc GIS 10 > ArctoolBox > Spatial Analyst Tools > Natural Neighbor), utilizando os pontos gerados para cada parcela.

A comparação entre os mapas de predição de biomassa foi realizada em um primeiro momento visualmente conferindo as zonas que apresentaram baixo ou alto valor de biomassa no mapa real (gerado a partir do inventário censitário), com os mapas gerados a partir das amostragens. Foi feito também um teste de consistência entre os mapas de predição da biomassa gerados a partir da amostragem em diferentes intensidades amostrais com os mapas gerados a partir do inventário total e dados LIDAR. A comparação foi feita em relação à média gerada pelas parcelas (BS Parcela), pela média gerada pelo mapa de vegetação produzido (BS GRIDE) e pela média gerada pelos dados LIDAR (BS LIDAR). Os valores da biomassa nas parcelas foram obtidos por meio da ferramenta Zonal Statistics (Arc GIS > Spatial Analyst > Zonal Statistics)

## 5. Resultados e Discussão

### 5.1 Comparação de métodos e intensidades amostrais

A maior média para biomassa seca acima do solo encontrada para parcelas com tamanho de 20mx20m, foi no tratamento sistemático com intensidade amostral de 1% com 161,8 Mg.ha<sup>-1</sup> e a menor foi de 120,8 Mg.ha<sup>-1</sup> no tratamento sistemático com intensidade amostral de 10%. A menor variância foi encontrada no tratamento aleatório com intensidade amostral de 10% com uma variância de 18.712 (Mg.ha<sup>-1</sup>)<sup>2</sup> e a maior variância foi encontrada no tratamento sistemático com intensidade amostral de 1% com uma variância de 74.178,8 (Mg.ha<sup>-1</sup>)<sup>2</sup>. A variância da média calculada para parcelas de tamanho 20mx20 m foi considerada elevada, comparada com os outros tamanhos de parcelas, isso se deve a grande amplitude de diâmetros em florestas tropicais em que parcelas muito pequenas podem subestimar ou superestimar a biomassa por ha (Tabela 2).

Bonetes (2003) relata que a escolha do tamanho das unidades amostrais está relacionada principalmente com a precisão e o tipo de informações desejadas pelo inventário florestal e com a variabilidade da floresta. Ainda o mesmo autor evidenciou em seu trabalho que o aumento da intensidade amostral resultou na redução do erro de amostragem para a maioria dos tamanhos de unidades amostrais.

Os tratamentos em que não seria necessário fazer novas parcelas para alcançar o erro amostral de 10% levando em consideração a variância foram o aleatório com intensidade amostral de 5% e 10% e o sistemático com intensidade amostral de 5% e 10%. Os testes com o erro amostral de 5% e 1% mostraram valores elevados de número de parcelas (Tabela 2).

O maior erro amostral encontrado foi de 20,0% no tratamento sistemático com intensidade amostral de 0,5% e o menor erro amostral foi no tratamento aleatório com intensidade amostral de 10% com erro amostral de 3,1%. Pode-se observar que o erro amostral diminuiu com o aumento da intensidade amostral para os dois tratamentos (Tabela 2, Figura 9).

Tabela 2 - Resumo das estatísticas geradas para biomassa por ha para parcelas de tamanho 20mx20m (A= Aleatório, S= Sistemático).

Parâmetros	Tratamentos								Invt Tot
	A 0,5%	A 1%	A 5%	A 10%	S 0,5%	S 1%	S 5%	S 10%	
$\mu$	132,1 a	153,0 a	133,7 a	138,9 a	154,5 a	161,8 a	133,5 a	120,8 a	155,2
$s^2$	24263,1	36309,0	29600,3	18712,9	39494,3	74178,8	39539,7	29637,4	-
s	155,8	190,5	172,0	136,8	198,7	272,4	198,8	172,2	-
CV	117,9	124,6	128,7	98,5	128,6	168,3	148,9	142,6	-
$\epsilon$	15,7	13,5	5,5	3,1	20,0	19,4	6,3	3,9	-
IC (+)	163,2	179,7	144,4	145,0	194,2	200,0	145,9	128,3	-
IC(-)	101,0	126,3	123,0	132,9	114,9	123,7	121,1	113,2	-
N Feito	98	197	990	1980	98	197	990	1980	-
N (p 0,01)	95961	104990	110285	64457	114155	191611	147752	135116	-
N (p 0,05)	2191	2414	2550	1492	2606	4406	3417	3127	-
N (p 0,1)	383	424	449	263	456	774	601	550	-

\* Em que: Invt Tot – inventário total  $\mu$  – biomassa média em  $Mg.ha^{-1}$ ;  $s^2$  - variância da biomassa em  $(Mg.ha^{-1})^2$ ; s – desvio padrão da biomassa em  $Mg.ha^{-1}$ ; CV – coeficiente de variação em %;  $\epsilon$  – erro padrão da média em %; IC (+)- maior intervalo de confiança em  $Mg.ha^{-1}$ ; IC(-) – menor intervalo de confiança em  $Mg.ha^{-1}$ ; N Feito- número de parcelas feitas; N (p 99%) – número de parcelas calculadas com probabilidade de 99% e erro de 1%; N (p 95%) – número de parcelas calculadas com probabilidade de 95% e erro de 5%; N (p 90%) – número de parcelas calculadas com probabilidade de 90% e erro de 10%; Médias seguidas da mesma letra não apresentaram diferença estatística significativa (Teste Tukey,  $p < 0,05$ ).

Para facilitar a visualização dos resultados comparando a biomassa média por ha nos tratamentos com a biomassa média por ha do inventário verificou-se na Figura 9 que o tratamento aleatório com intensidade amostral de 1% e o sistemático com intensidade amostral de 0,5% apresentaram um valor médio da biomassa por ha aproximado da média do inventário total que foi de 155,2 Mg.ha<sup>-1</sup>.

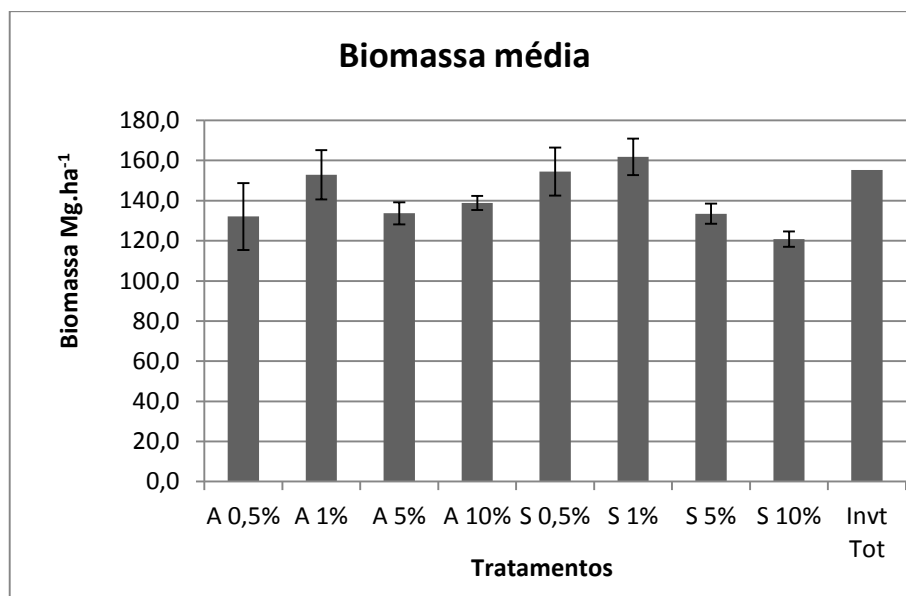


Figura 9 - Comparação da biomassa média por ha para parcelas de tamanho 20mx20m em que: “A” significa amostragem aleatória e “S” amostragem sistemática e as porcentagens a intensidade amostral de cada tratamento.

A maior média de biomassa seca acima do solo encontrada para parcelas com tamanho de 50mx50m, foi no tratamento aleatório com intensidade amostral de 1% com 163,4 Mg.ha<sup>-1</sup> e a menor média foi 117 Mg.ha<sup>-1</sup> no tratamento sistemático com intensidade amostral de 0,5%. A maior variância da média encontrada foi no tratamento aleatório com intensidade amostral de 1% com uma variância de 8.908,3 (Mg.ha<sup>-1</sup>)<sup>2</sup> e a menor variância da média foi no tratamento sistemático com intensidade amostral de 0,5% com variância de 3594,1 (Mg.ha<sup>-1</sup>)<sup>2</sup>. É notável que a variância ainda está elevada mas está muito menor comparado a variância das parcelas de tamanho 20mx20m, essa diminuição da variância é explicada pela a diminuição de variação entre os indivíduos com o aumento do tamanho de parcela (Tabela 3).

Segundo Augustynczyk (2011) o uso de parcelas maiores capta de forma mais eficiente, as variações que ocorrem dentro da floresta e proporcionam

resultados mais próximos da realidade. Parcelas menores sempre captam poucos indivíduos dentro da unidade amostral, isso resultado que a amplitude dos diâmetros captados em parcelas menores seja menor, principalmente quando a distribuição dessa variável ocorre de forma aleatória. Dessa forma, parcelas menores podem amostrar sempre indivíduos de uma única classe de dimensão dentro da floresta, o que pode ocasionar erros maiores de superestimativa ou subestimativa para qualquer variável desejável.

Foi verificado que o tratamento que obteve o maior erro amostral foi o aleatório com intensidade amostral de 0,5% com um erro amostral de 21,7%, sendo que o menor erro foi de 4,7% no tratamento aleatório com intensidade amostral de 10% (Tabela 3, Figura 10).

Os tratamentos que não seria necessário fazer mais parcelas para alcançar o erro aceitável de 10% foram o aleatório com intensidade amostral de 5% e 10% e o sistemático com intensidade amostral de 5% e 10% (Tabela 3).

Tabela 3 - Resumo das estatísticas geradas para biomassa por ha em parcelas com tamanho de 50mx50m (A=Aleatório,S=Sistemático).

Parâmetros	Tratamentos								Invt. Tot.
	A 0,5%	A 1%	A 5%	A 10%	S 0,5%	S 1%	S 5%	S 10%	
$\mu$	142,9a	163,4a	147,9a	138,2a	117,0a	133,3a	138,3a	147,8a	155,2
$s^2$	7046,2	8908,3	8469,1	6489,8	3594,1	4502,6	6352,6	7750,7	-
s	83,9	94,4	92,0	80,6	60,0	67,1	79,7	88,0	-
CV	58,8	57,8	62,2	58,3	51,3	50,3	57,6	59,6	-
$\epsilon$	21,7	17,2	7,6	4,7	15,5	12,3	6,6	5,1	-
IC (+)	189,3	198,6	162,8	147,4	150,2	158,3	151,2	157,8	-
IC (-)	96,4	128,2	132,9	129,0	83,8	108,2	125,3	137,7	-
N Feito	15	30	148	296	15	30	148	296	-
N (p 99%)	30597	25349	26384	22829	23284	19257	22632	23862	-
N (p 95%)	635	558	605	526	483	424	519	550	-
N (p 90%)	107	96	106	92	82	73	91	97	-

\* Em que: Invt Tot – inventário total  $\mu$  – biomassa média em  $Mg.ha^{-1}$ ;  $s^2$  - variância da biomassa em  $(Mg.ha^{-1})^2$ ; s – desvio padrão da biomassa em  $Mg.ha^{-1}$ ; CV – coeficiente de variação em %;  $\epsilon$  – erro padrão da média em %; IC (+)- maior intervalo de confiança em  $Mg.ha^{-1}$ ; IC(-) – menor intervalo de confiança em  $Mg.ha^{-1}$ ; N Feito- número de parcelas feitas; N (p 99%) – número de parcelas calculadas com probabilidade de 99% e erro de 1%; N (p 95%) – número de parcelas calculadas com probabilidade de 95% e erro de 5%; N (p 90%) – número de parcelas calculadas com probabilidade de 90% e erro de 10%; Médias seguidas da mesma letra não apresentaram diferença estatística significativa (Teste Tukey,  $p < 0,05$ ).

Comparando a biomassa média por ha dos tratamentos com a biomassa média obtida pelo inventário total pode-se denotar que os tratamentos aleatório com intensidade amostral de 5% e o sistemático com intensidade amostral de 10% apresentaram um valor médio da biomassa por ha mais aproximado da média do inventário total que foi de 155,2 Mg.ha<sup>-1</sup> (Figura 10).

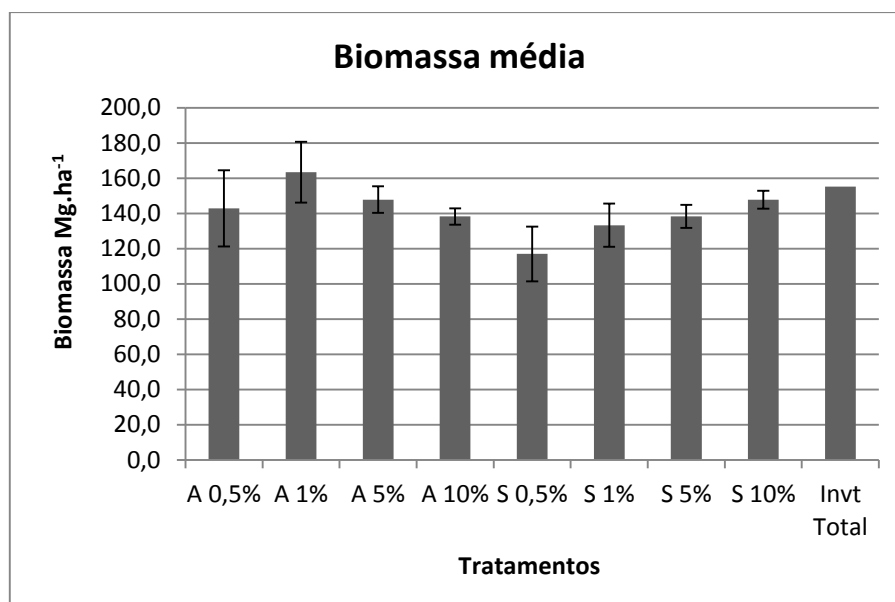


Figura 10 - Comparação da biomassa média por ha para parcelas de tamanho 50mx50m em que: “A” significa amostragem aleatória e “S” amostragem sistemática e as porcentagens a intensidade amostral de cada tratamento.

A maior média de biomassa seca acima do solo encontrada para parcelas com tamanho 100mx100m, foi no tratamento aleatório com intensidade amostral de 0,5% com 178,8 Mg.ha<sup>-1</sup> e a menor média foi 123,6 Mg.ha<sup>-1</sup> no tratamento sistemático com intensidade amostral de 1%. A maior variância da média encontrada foi no tratamento aleatório com intensidade amostral de 1% com uma variância de 5.579,0 (Mg.ha<sup>-1</sup>)<sup>2</sup> e a menor variância da média foi no tratamento aleatório com intensidade amostral de 0,5% e variância de 1.280,6 (Mg.ha<sup>-1</sup>)<sup>2</sup> (Tabela 4).

Morais Filho *et al.* (2003) afirma que a maioria dos trabalhos publicados tem demonstrado a dependência entre a variância da média das parcelas e o tamanho das mesmas. Essa dependência se reflete no decréscimo da variância em função do aumento do tamanho da parcela. O mesmo ocorre para os coeficientes de variação.

Gomes (1984) salienta que o mais importante é reduzir a variância da média de todos os tratamentos, sem aumentar o número de árvores do experimento, isto é, para uma área fixa ou um número fixo de árvores, tornar mínima a variância da média de cada tratamento.

Em relação ao erro amostral o tratamento que obteve menor erro foi o aleatório com intensidade amostral de 10% com erro de 5% e o maior erro foi de 34,7% no tratamento sistemático com intensidade amostral de 0,5% (Tabela 4). Como nos outros tamanhos de parcela o erro amostral e o coeficiente de variação diminuiu com o aumento da intensidade amostral.

Para Netto e Brena (1997), o erro de amostragem depende do tamanho da amostra, da variabilidade entre as unidades amostrais e do procedimento de amostragem adotado.

Os tratamentos em que não seria necessário fazer mais parcelas para alcançar o erro amostral aceitável de 10% foram o aleatório com intensidade amostral de 10%, o sistemático com intensidade amostral de 5% e sistemático com intensidade amostral de 10% (Tabela 4).



Tabela 4 - Resumo das estatísticas geradas para biomassa por ha em parcelas com tamanho 100mx100m (A= Aleatório, S= Sistemático).

Parâmetros	Tratamentos								Invt. Total.
	A 0,5%	A 1%	A 5%	A 10%	S 0,5%	S 1%	S 5%	S 10%	
$\mu$	178,8a	153,2a	144,5a	138,3a	124,1a	123,6a	151,9a	150,5a	155,2
$s^2$	1280,6	5579,0	2926,9	1839,4	4827,1	1803,8	1913,5	2129,8	-
s	35,8	74,7	54,1	42,9	69,5	42,5	43,7	46,1	-
CV	20,0	48,7	37,4	31,0	56,0	34,4	28,8	30,7	-
$\epsilon$	17,9	28,2	8,9	5,0	34,7	16,1	7,2	5,4	-
IC (+)	235,7	222,3	162,6	148,3	234,6	162,9	166,5	161,3	-
IC (-)	121,9	84,2	126,5	128,2	13,5	84,3	137,3	139,8	-
N Feito	3	6	36	72	3	6	36	72	-
N (p 99%)	13666	32658	10360	6737	106946	16232	6133	6580	-
N (p 95%)	162	569	230	153	1270	283	136	149	-
N (p 90%)	22	90	40	27	174	45	24	26	-

\* Em que: Invt Tot – inventário total  $\mu$  – biomassa média em  $Mg.ha^{-1}$ ;  $s^2$  - variância da biomassa em  $(Mg.ha^{-1})^2$ ; s – desvio padrão da biomassa em  $Mg.ha^{-1}$ ; CV – coeficiente de variação em %;  $\epsilon$  – erro padrão da média em %; IC (+)- maior intervalo de confiança em  $Mg.ha^{-1}$ ; IC(-) – menor intervalo de confiança em  $Mg.ha^{-1}$ ; N Feito- número de parcelas feitas; N (p 99%) – número de parcelas calculadas com probabilidade de 99% e erro de 1%; N (p 95%) – número de parcelas calculadas com probabilidade de 95% e erro de 5%; N (p 90%) – número de parcelas calculadas com probabilidade de 90% e erro de 10%; Médias seguidas da mesma letra não apresentaram diferença estatística significativa (Teste Tukey,  $p < 0,05$ ).

Para facilitar a visualização dos resultados da biomassa média por ha em cada tratamento demonstra-se na Figura 11 que os tratamentos aleatório com intensidade amostral de 1%, sistemático com intensidade amostral de 5% e sistemático com intensidade amostral de 10% apresentaram a média de biomassa por ha mais aproximada com a média do inventário total.

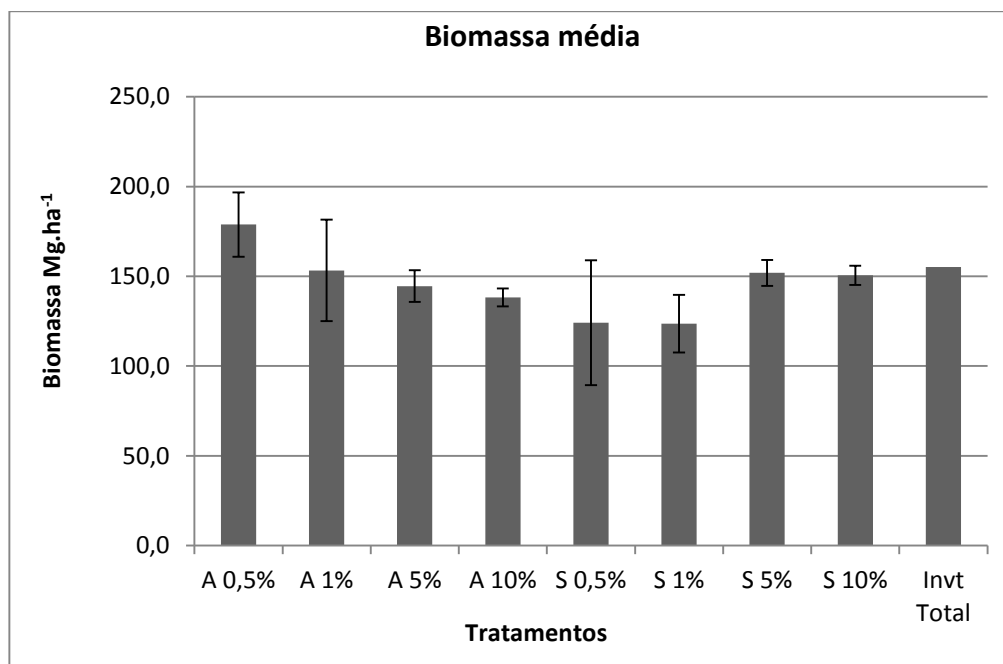


Figura 11 - Comparação da biomassa média por ha para parcelas de tamanho 100mx100 m em que: “A” significa amostragem aleatória e “S” amostragem sistemática e as porcentagens a intensidade amostral de cada tratamento.

Não houve diferença estatística da biomassa média em Mg.ha<sup>-1</sup> entre os tratamentos pelo teste Tukey à uma probabilidade de 95% e erro de 5% nos três tamanhos de parcela. Não houve diferença estatística entre os tratamentos levando em consideração o tamanho de parcela (Tabela 2, 3 e 4).

Levando em consideração os resultados obtidos pode-se denotar que o tamanho de parcela ótimo encontrado foi de 50mx50m com intensidade amostrais de 1% e 5%, ou seja, com número de parcelas de 30 a 198 parcelas distribuídas sobre toda área. Em relação ao método de amostragem verificou-se que não foi obtida diferença significativa entre os métodos de amostragem aleatório e sistemático. A utilização de parcelas 20mx20m fica inviável devido ao número elevado de parcelas a serem instaladas e por superestimar a biomassa por ha em parcelas com árvores de grande porte. As parcelas de

tamanho 100mx100 m acredita-se que também é inviável devido ser parcelas muito grandes dificultando a instalação em campo.

## 5.2 Comparação dos mapas de predição de biomassa

Com a produção de mapas de vegetação advindos de simulações de parcelas pode-se denotar que todos os tratamentos com intensidades amostrais de 0,5% e 1% (Figura 12A e Figura 12B) tanto para o método aleatório como sistemático apresentaram mapas de vegetação inconsistentes, ou seja, não representaram a real condição da área de estudo (Figura 12C e 12F). Os referidos mapas foram confeccionados a partir dos dados advindos do Inventário 100% e dos dados LIDAR, respectivamente, portanto não seria recomendável utilizar essas intensidades amostrais.

Os mapas que melhor representaram a área de estudo foram os advindos das intensidades amostrais 5% e 10% (Figura 12D e 12E) tanto para o método aleatório (Figura 12) como para o método sistemático (Figura 13). Essa melhor representatividade foi denotada a partir das zonas que conhecidamente tem pouca biomassa e zonas que tem maior biomassa identificada nos mapas produzidos a partir dos dados do Inventário o 100% (Figura 12C e 13C) e dos dados LIDAR (Figura 12F e 13F).

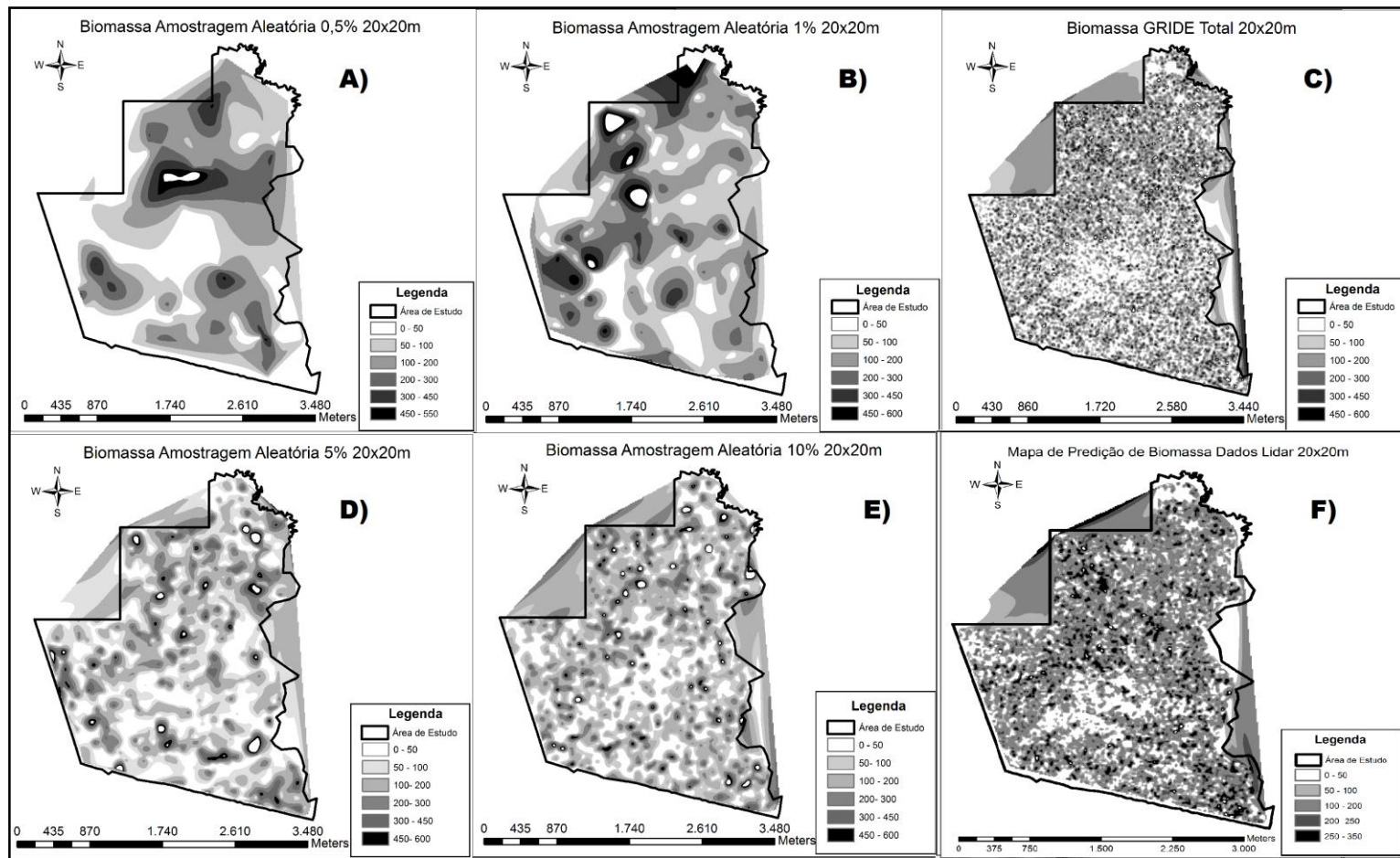


Figura 12 - Comparação entre os mapas de predição advindos da Amostragem Aleatória em diferentes intensidades amostrais com os dados LIDAR e utilizando a área total dividida em parcelas de 20mx20m.

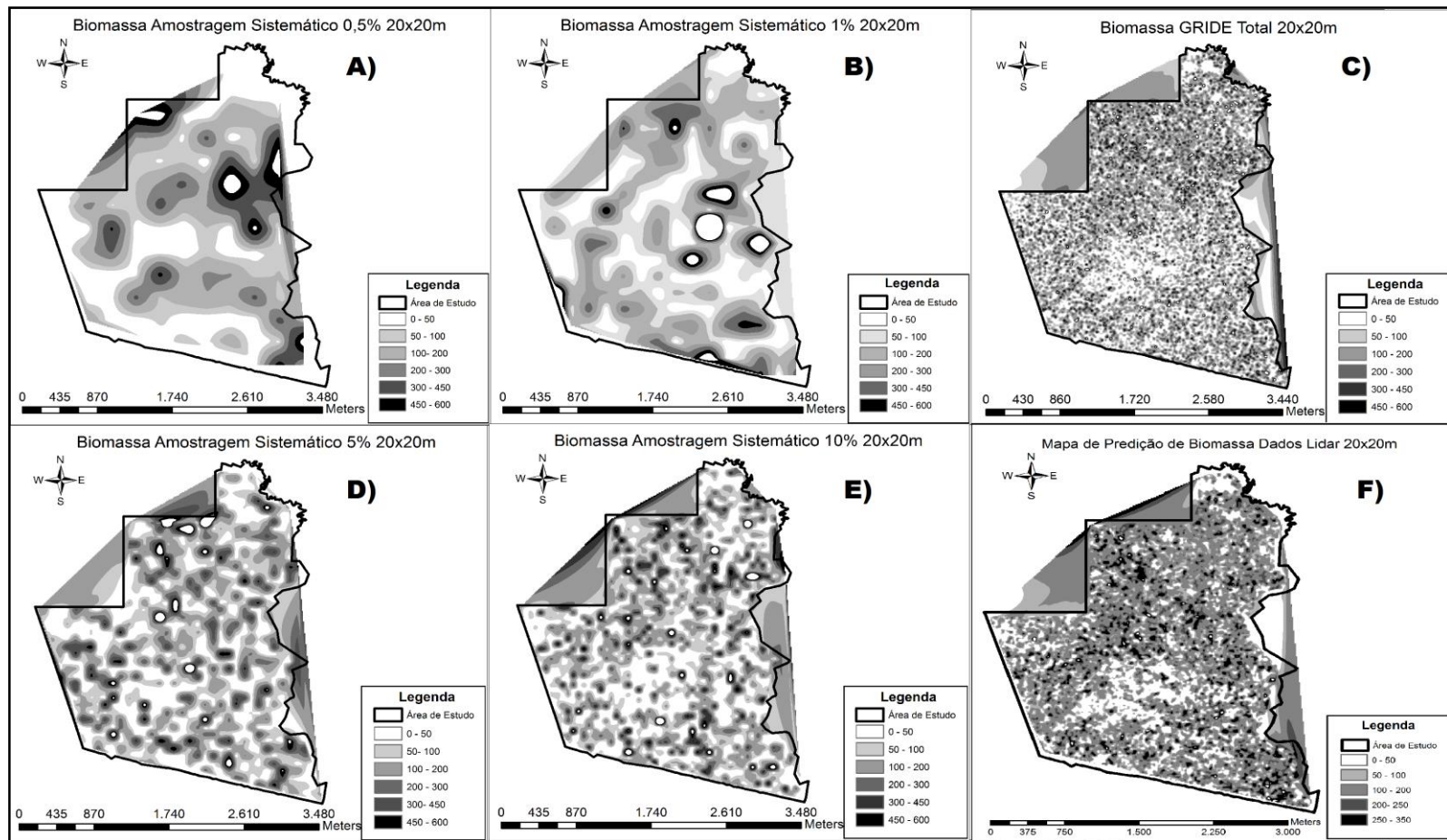


Figura 13 - Comparação entre os mapas de predição advindos da Amostragem Sistemática em diferentes intensidades amostrais com os Dados LIDAR e utilizando a área total dividida em parcelas de 20mx20m.

Nas parcelas com tamanho de 50mx50m obteve-se o mesmo comportamento dos mapas produzidos por parcelas de 20mx20m, ou seja, todos os tratamentos com intensidades amostrais de 0,5% e 1% (Figura 14A, 14B, 15A e 15B) tanto para o método aleatório como sistemático apresentaram mapas de vegetação inconsistentes, ou seja, não representaram a real condição da área de estudo (Figura 14C, 14F, 15C e 15F), que são os mapas confeccionados a partir dos dados advindos do Inventário 100% e dos dados LIDAR, respectivamente, portanto não seria recomendável utilizar essas intensidades amostrais.

Como nos mapas gerados por parcelas de 20mx20m, nas parcelas de 50mx50 m os tratamentos que melhor representaram a área de estudo foram os advindos das intensidades amostrais 5% e 10% (Figura 14D, 14E, 15D e 15E) tanto para o método aleatório (Figura 14) como para o método sistemático (Figura 15).

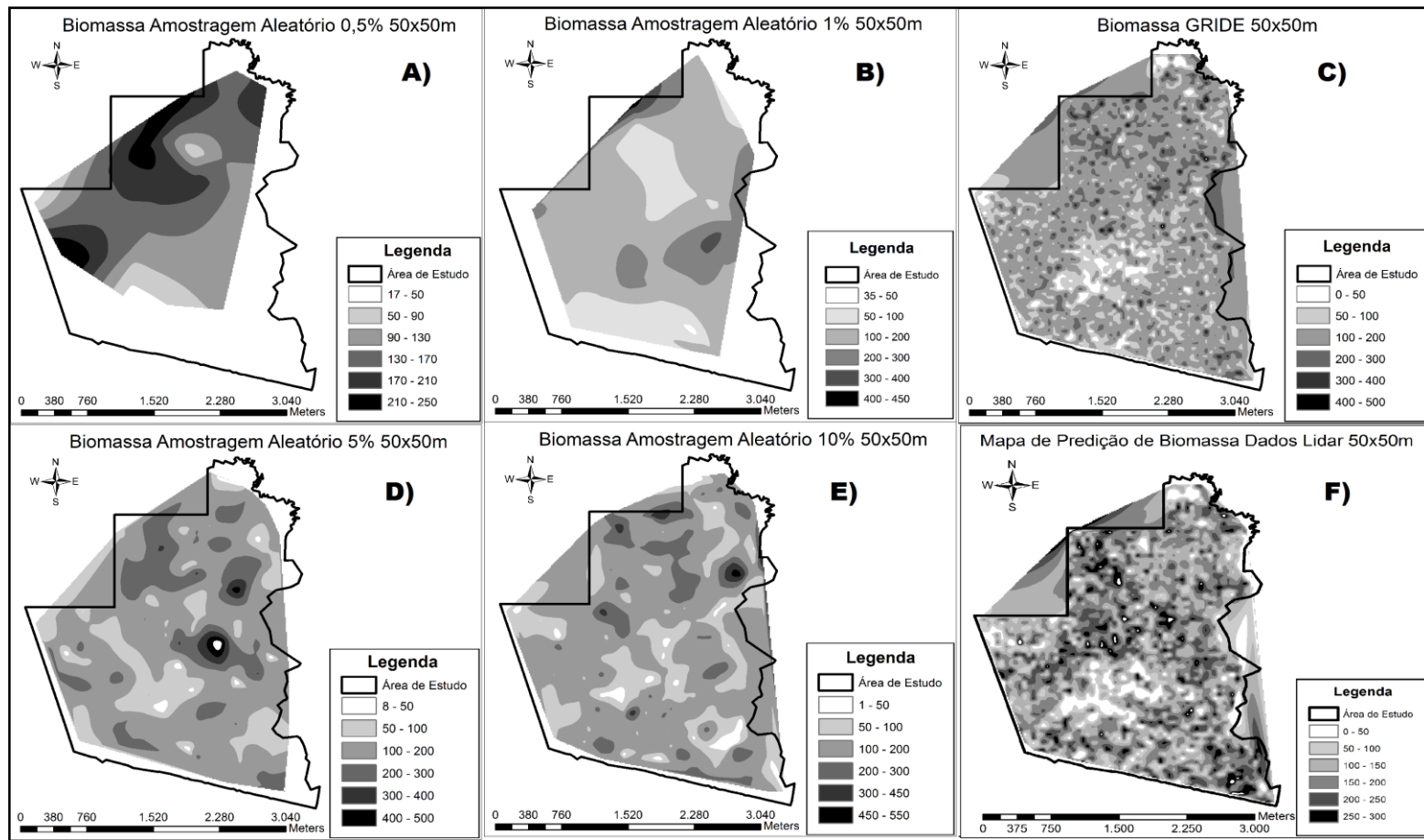


Figura 14 - Comparação entre os mapas de predição advindos da Amostragem Aleatória em diferentes intensidades amostrais com os Dados LIDAR e utilizando a área total dividida em parcelas de 50mx50m.



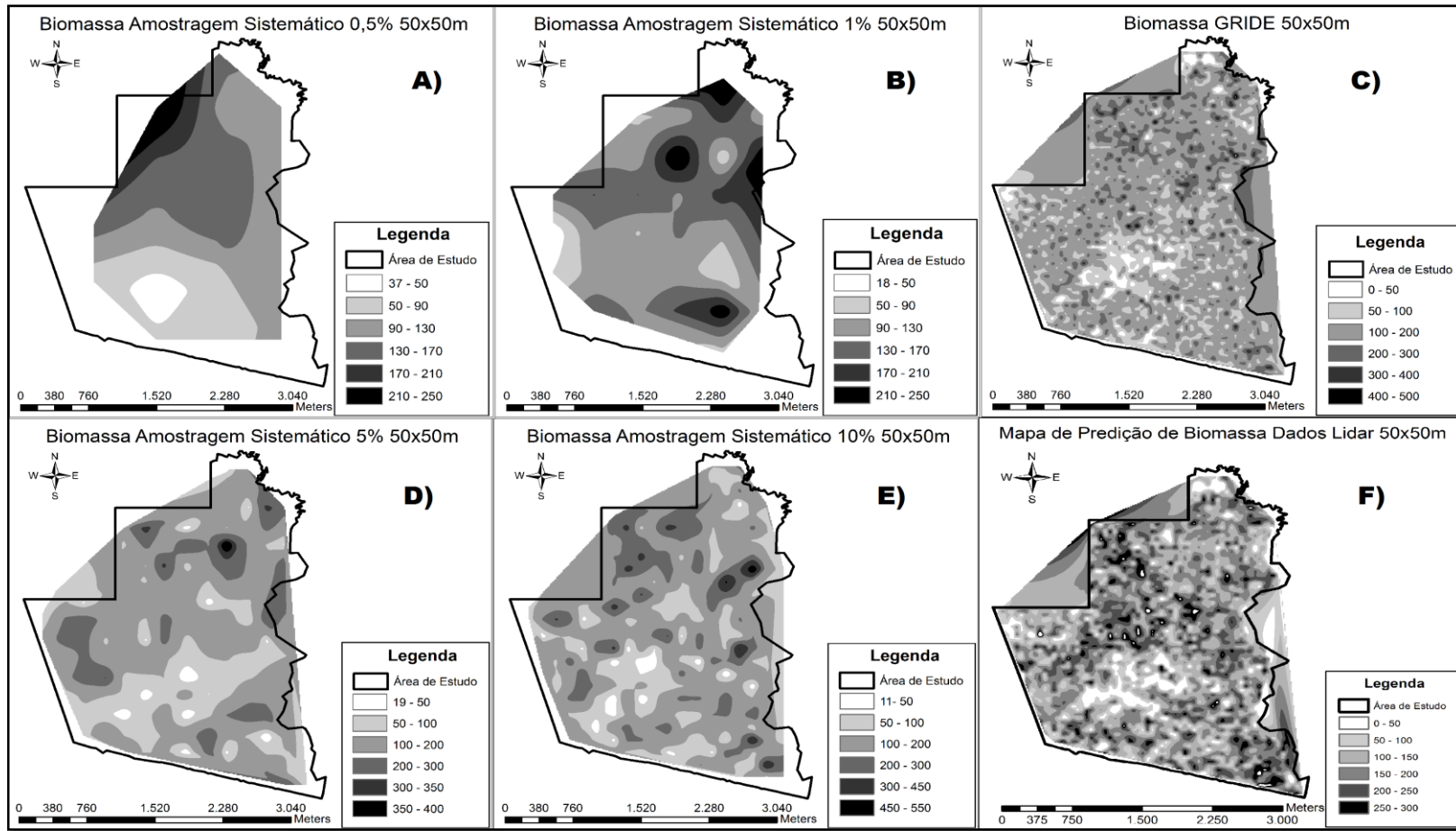


Figura 15 - Comparação entre os mapas de predição advindos da Amostragem Sistemática em diferentes intensidades amostrais com os Dados LIDAR e utilizando a área total dividida em parcelas de 50mx50m.



Nas parcelas com tamanho de 100mx100m obteve-se o mesmo comportamento dos mapas produzidos a partir dos outros tamanhos de parcela, ou seja, todos os tratamentos com intensidades amostrais de 0,5% e 1% (Figura 16A, 16B, 17A e 17B) tanto para o método aleatório como sistemático apresentaram mapas de vegetação inconsistentes, ou seja, não representaram a real condição da área de estudo (Figura 16C, 16F, 17C e 17F).

Como nos mapas gerados por outros tamanhos de parcelas, nas parcelas de 100mx100 m os tratamentos que melhor representaram a área de estudo foram os advindos das intensidades amostrais 5% e 10% (Figura 16D, 16E, 17D e 17E) tanto para o método aleatório (Figura 16) como para o método sistemático (Figura 17).

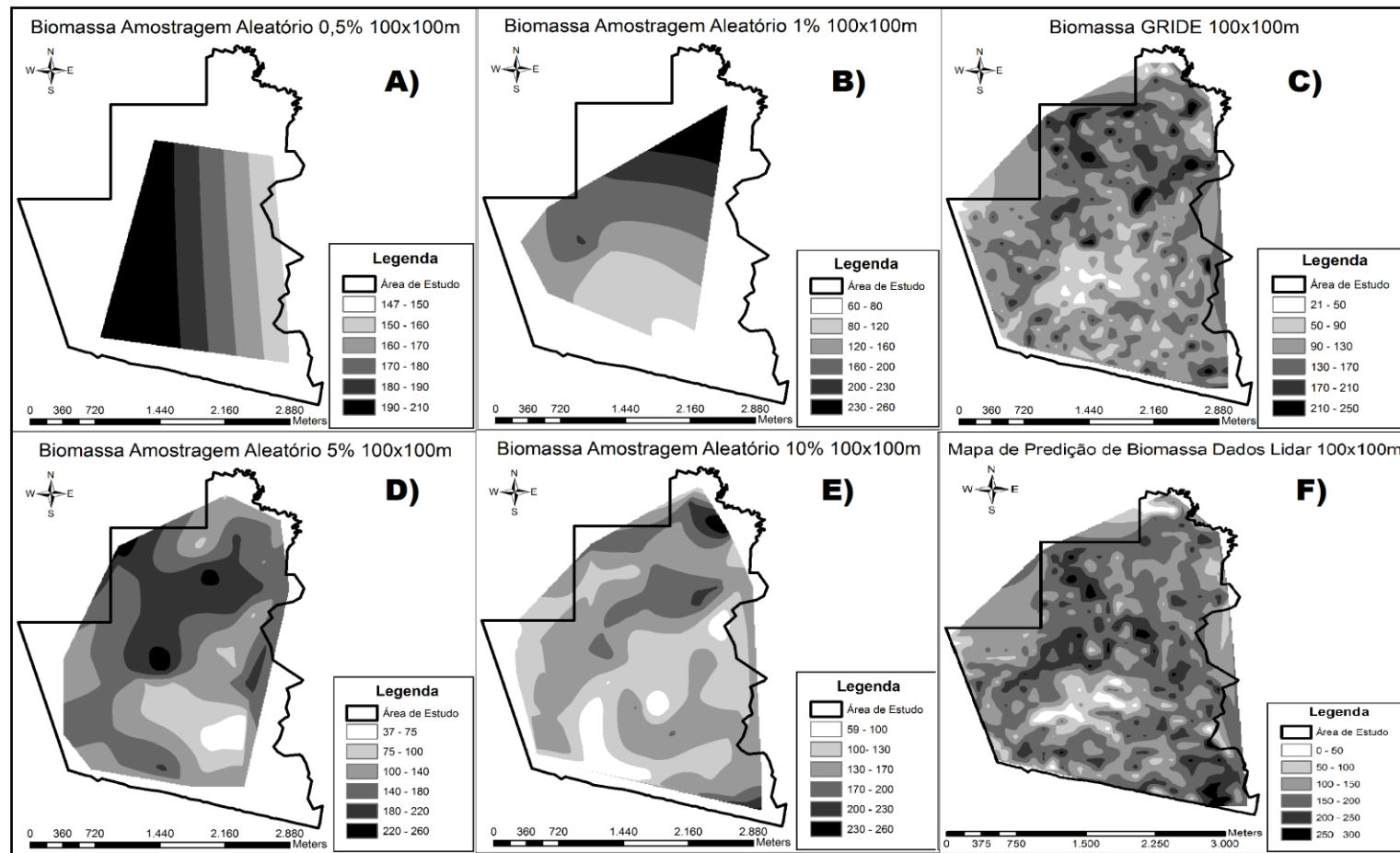


Figura 16 - Comparação entre os mapas de predição advindos da amostragem aleatória em diferentes intensidades amostrais com os Dados LIDAR e utilizando a área total dividida em parcelas com tamanho de 100mx100m.

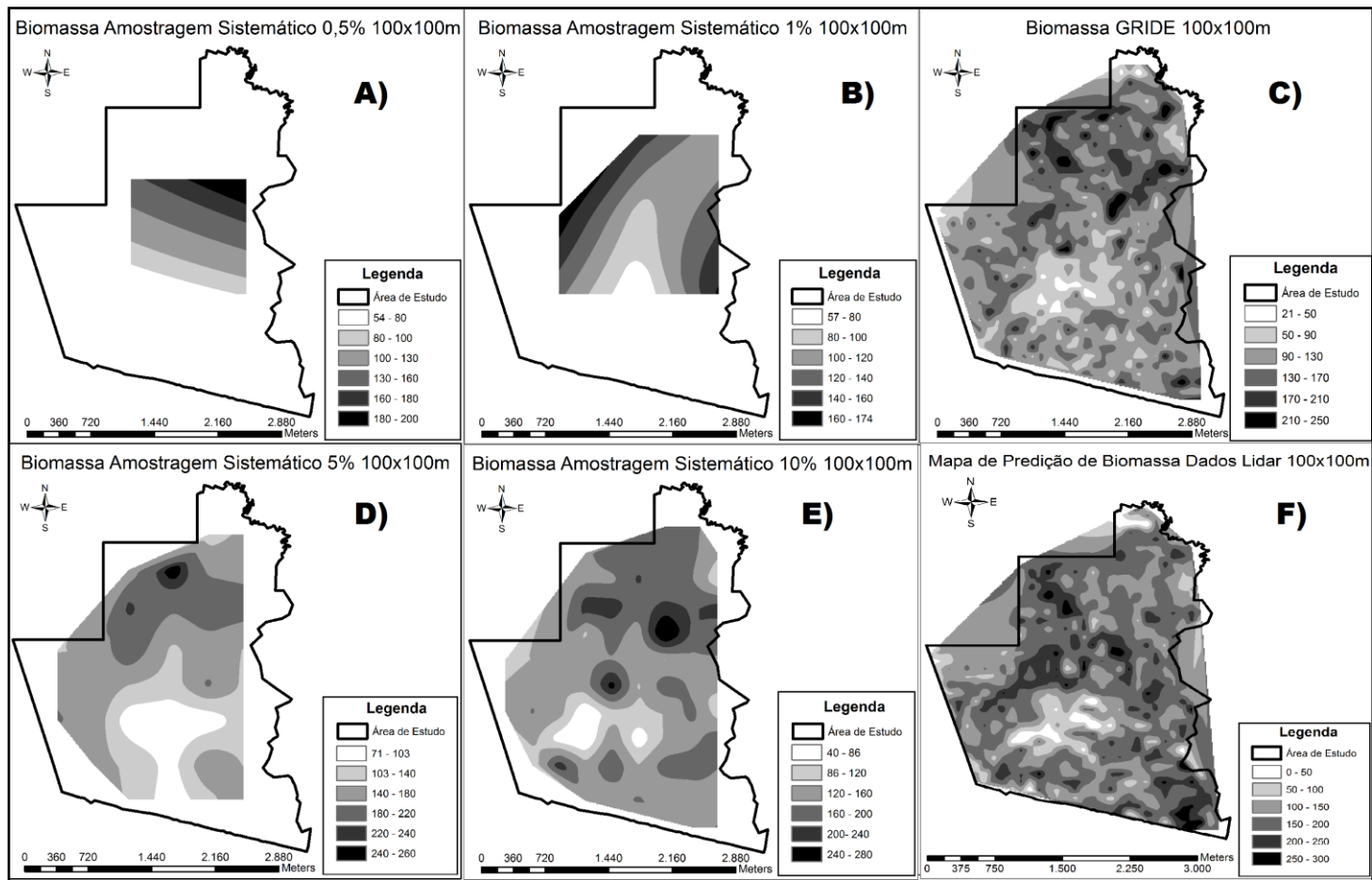


Figura 17 - Comparação entre os mapas de predição advindos da Amostragem Sistemática em diferentes intensidades amostrais com os Dados LIDAR e utilizando a área total dividida em parcelas de 100mx100m.

### 5.3 Teste de consistência

No teste de consistência dos mapas no tamanho de parcela 20mx20m pode-se denotar que a biomassa advinda dos mapas de predição gerados pelo Gride (BS GRIDE) sobre toda a área foi equivalente com a biomassa das parcelas (BS Parcelas) gerada pelo inventário nos tratamentos aleatório com intensidade amostral de 5% e 10% e sistemático com intensidade amostral de 5% e 10% (Figura 18).

Comparando a biomassa gerada pelos dados LIDAR (BS LIDAR) com a biomassa gerada pelo Gride (BS GRIDE) pode-se denotar que os tratamentos não foram equivalentes sendo que somente no tratamento sistemático com intensidade amostral de 10% obteve-se uma média maior de biomassa na biomassa gerada pelo LIDAR, demonstrando que a biomassa foi superestimada em parcelas de 20mx20m (Figura 18).

Na biomassa gerada pelos dados LIDAR (BS LIDAR) pode-se observar que nenhum dos tratamentos obteve-se valores equivalentes com os dados de biomassa das parcelas (BS Parcelas) (Figura 18).

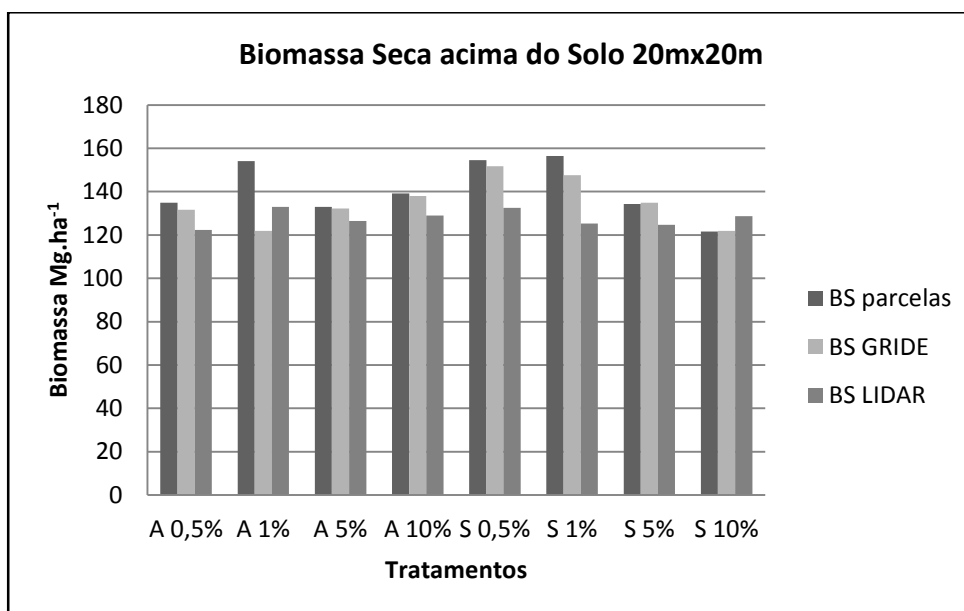


Figura 18 – Comparação da biomassa média gerada entre os mapas de predição de biomassa através do teste de consistência por tratamento para parcelas de tamanho 20mx20m, em que: BS Parcelas - Biomassa gerada pelas parcelas simuladas do inventário; BS GRIDE - Biomassa gerada pelo mapa do GRIDE total da área; BS LIDAR- Biomassa gerada pelo mapa dos Dados LIDAR; “A” – amostragem aleatória e “S” amostragem sistemática.

Em relação ao teste de consistência dos mapas no tamanho de parcela 50mx50m pode-se denotar que a biomassa advinda dos mapas de predição gerados pelo GRIDE (BS Gride) sobre toda a área foi equivalente com a biomassa das parcelas (BS Parcelas) gerada pelo inventário nos tratamentos aleatório com intensidade amostral de 0,5% e 5% e sistemático com intensidade amostral de 1% (Figura 19).

Na biomassa gerada pelos dados LIDAR (BS LIDAR) pode-se observar que somente os tratamentos da amostragem aleatória com intensidade amostral de 0,5% e 5% obtiveram-se valores equivalentes com os dados de biomassa das parcelas (BS Parcelas), isso denota que o método de amostragem aleatório foi mais satisfatório que o método de amostragem sistemático em parcelas de 50mx50m (Figura 19).

Comparando a média gerada pelos mapas de predição de biomassa do Gride (BS GRIDE) com os mapas gerados pelo LIDAR (BS LIDAR) pode-se denotar que os tratamentos que tiveram valores mais equivalentes foram com intensidade amostral de 0,5% e 5%, isso denota que o método de amostragem aleatório foi mais satisfatório que o método de amostragem sistemático em parcelas de 50mx50m na comparação de mapas (Figura 19).

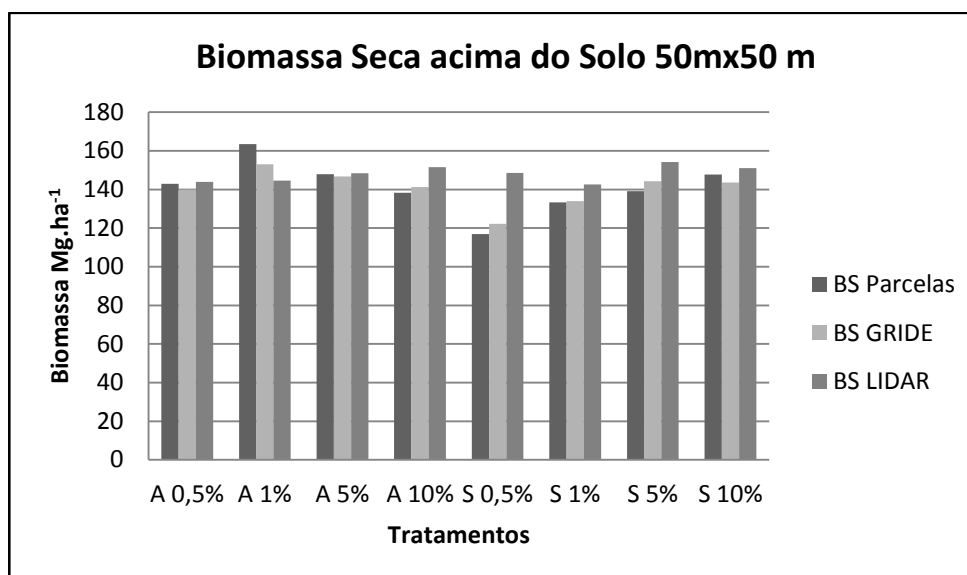


Figura 19 – Comparação da biomassa média gerada entre os mapas de predição de biomassa através do teste de consistência por tratamento para parcelas de tamanho 50mx50m, em que: BS Parcelas - Biomassa gerada pelas parcelas simuladas do inventário; BS GRIDE - Biomassa gerada pelo mapa do GRIDE total da área; BS LIDAR- Biomassa gerada pelo mapa dos Dados LIDAR; “A” – amostragem aleatória e “S” amostragem sistemática.

Em relação ao teste de consistência dos mapas no tamanho de parcela 100mx100m denota-se que a biomassa advinda dos mapas de predição gerados pelo Gride (BS GRIDE) sobre toda a área foi equivalente com a biomassa da parcela (BS parcela) gerada pelo inventário somente no tratamento do método sistemático com intensidade amostral de 5% (Figura 20).

Comparando a biomassa das parcelas (BS Parcela) com a biomassa gerada pelas zonas geradas pelo mapa do LIDAR (BS LIDAR) pode-se denotar que somente no tratamento do método aleatório com intensidade amostral de 1% foi equivalente, sendo recomendável utilizar o mapa de predição de biomassa desse tratamento para representar a biomassa real da área de estudo (Figura 20).

Na biomassa gerada pelos dados LIDAR (BS LIDAR) pode-se observar que nenhum dos tratamentos foram equivalentes com os dados de biomassa GRIDE (BS GRIDE) (Figura 20).

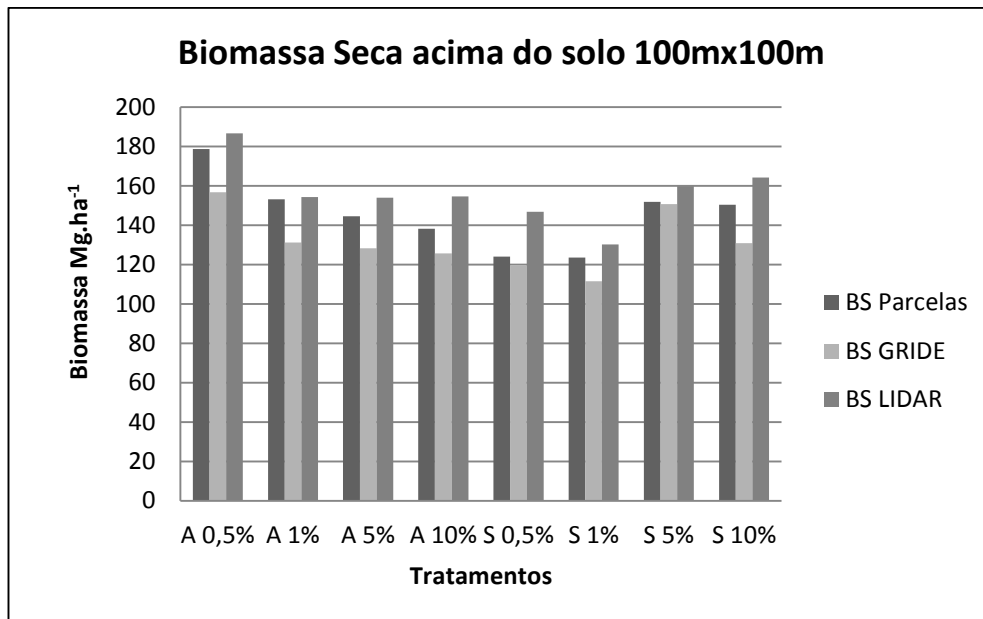


Figura 20 – Comparação da biomassa média gerada entre os mapas de predição de biomassa através do teste de consistência por tratamento para parcelas de tamanho 100mx100m, em que: BS Parcelas - Biomassa gerada pelas parcelas simuladas do inventário; BS GRIDE - Biomassa gerada pelo mapa do GRIDE total da área; BS LIDAR- Biomassa gerada pelo mapa dos Dados LIDAR; “A” – amostragem aleatória e “S” amostragem sistemática.



## 6. Conclusão

Com a realização da pesquisa de simulações de instalação de parcelas em diferentes métodos de amostragem, intensidades amostrais e tamanhos de parcelas para estimativa de parâmetros estruturais da floresta e elaboração de mapas de biomassa utilizando para comparação dados reais do inventário 100% e dados LIDAR em uma reserva florestal de 800 ha pode-se concluir que:

- 1) O tamanho de parcela considerado ótimo foi de 50mx50m, a intensidade amostral satisfatória foi de 5% a 10% da área total e em relação ao método de amostragem nenhum dos dois métodos mostrou diferença significativa para estimar biomassa florestal seca acima do solo;
- 2) Em relação a comparação das estimativas de biomassa obtidas por meio de informações de inventário florestal censitário em campo com estimativas produzidas com dados LIDAR, os tratamentos que obtiveram maior proximidade de média e seria o tratamento ótimo foi o aleatório com intensidade amostral de 5% utilizando o tamanho de parcela de 50mx50m;
- 3) Para o tamanho de parcela ótimo que foi de 50mx50 m os mapas que melhor representaram a área de estudo foram os da amostragem aleatória com intensidades amostrais de 5% e 10% e o da amostragem sistemática com intensidade amostral de 5% e 10%.

## 7. Referência bibliográficas

ARAÚJO, H.J.B. de. Inventário florestal a 100% em pequenas áreas sob manejo florestal madeireiro. **Acta Amazônica**, vol. 36 (4), p. 447-464. 2006.

AUGUSTYNCZIK, A.D. **Avaliação do tamanho de parcelas e intensidades de amostragem para estimativa de estoque e estrutura horizontal de um fragmento de floresta ombrófila mista**. 2011. Curitiba. 176 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

BANTEL, C.A. **Aplicações de Sensoriamento Remoto na Engenharia de Precisão e Exemplos**. Palestra. Curso de Agronomia- FCA/UNESP. Botucatu. 2007.

BOURGERON, P.S. **Spatial aspects of vegetation structure**. In: GOLLEY, F. B. (ed.). Tropical rain forest ecosystems. Amsterdam: Elsevier Scientific, 1983. p. 29-47.

BRENA, D.A. **Inventário florestal nacional: proposta de um Sistema para o Brasil**. 1995. 224 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná.

BROWN, S.; LUGO, A.E. Aboveground Biomass Estimates for Tropical Moist Forests of the Brazilian Amazon. **Revista Interciência**, v. 17, p.8-18. 1992.

BONETES, L. **Tamanho de parcelas e intensidade amostral para estimar o estoque e índices fitossociológicos em uma floresta ombrófila mista**. Curitiba. 2003. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

CAMPOS, M.A.A. **Balanço de biomassa e nutrientes em povoamentos de *Ilex paraguariensis*: avaliação na safra e na safrinha.** 1991. 106 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.

CAMPOS, J.C.C.; VALENTE, O. F. Considerações sobre o inventário povoamentos florestais, com ênfase na biomassa e na sua transformação em carvão vegetal. Curitiba: Viçosa. **Boletim técnico SIF**, n.1, p.19, 1993.

CUNHA, U.S. da. Dendrometria e inventário florestal. **Série técnica.** Escola Agrotécnica Federal de Manaus. Amazonas: Manaus, 2004.

DIAS, A.C. **Composição florística, fitossociologia, diversidade de espécies arbóreas e comparação de método de amostragem na floresta ombrófila densa do parque estadual Carlos Botelho/SP-Brasil.** Piracicaba. 2005. 203 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo.

D'OLIVEIRA, M.V.N. **Composição florística e potenciais madeireiro e extrativista em uma área de floresta no estado do Acre.** Rio Branco:EMBRAPA Acre. 1994. 42p. (Embrapa Acre. Boletim de pesquisa 9).

D'OLIVEIRA, M.V.N.; BRAZ, E.M. **Manejo Florestal em regime de rendimento sustentado aplicado à floresta do campo experimental da Embrapa Acre.** Rio Branco: Embrapa Acre, 1998. p. 45 (Embrapa-CPAF/AC. Boletim de Pesquisa,21).

D'OLIVEIRA, M.V.N.; FIGUEIREDO, E.O.; PAPA, D. de. A. **Uso do LIDAR como ferramenta para o manejo de precisão em Florestas Tropicais.** Distrito Federal: Brasília. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Embrapa/Acre, 2014.

DURIGAN, G.; FRANCO, G.A.D.C.; SAITO, M.; BAITELLO, J.B. Estrutura e diversidade do componente arbóreo da floresta na estação ecológica dos Caetetus, Gália, SP. São Paulo. **Revista Brasileira Botânica**, vol. 23, n. 4, p.371-383. Dez. 2000.

FAO, ORGANIZAÇÃO DA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. **O estado do mundo de pesca e aquicultura**. 2012. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/016/i2727e/i2727e.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2015.

FIGUEIREDO FILHO, A. Implantação de áreas de coleta de sementes de espécies arbóreas nativas utilizando-se o censo florestal. CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 50º. Mesa Redonda: Alternativas modernas de criação de bancos de sementes de espécies arbóreas nativas. (Blumenau: 1999) **Anais...**Blumenau; SBB, FURB, 1999. p. 333.

FLOOD, M. Atividades do LIDAR e suas prioridades de investigação no setor comercial. In: ISPRS Working Group III/3, 2001, Anapolis. **Land Surface mapping and characterization using laser altimetry: proceedings**. Freiburg: [S.I.] International Society of Photogrammetry and Remote Sensing, 2001. p.3-7. (International archives of photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, v.34, pt 3/w4).

FERREIRA, R.L.C. **Estrutura e dinâmica de uma floresta secundária de transição, Rio Vermelho e Serra azul de minas, MG**. 208 p. Dissertação (Mestrado em Manejo florestal) – Departamento de Engenharia Florestal. Universidade Federal de Viçosa. 1997. Disponível em: < <ftp://atenas.cp.d.ufv.br/def/disciplinas/ENF344/MANEJOFLORESTASNATIVAS/RinaldoCaracilo/Apostila-Caracilo.pdf>>. Acesso em: 23 de mar. de 2014.

FUNTAC. Fundação de tecnologia do Acre. **Inventário Florestal da área de influência direta da BR-364 no trecho de Rio Branco/Cruzeiro do Sul, Fronteira com o Peru Rio Branco**, 1992. p. 98.

GIONGO, M.; KOEHLER, H.S.; MACHADO, S. do A.; Kirchner, F. F.; **Marchetti M. LIDAR: princípios e aplicações florestais**. Universidade Federal do Paraná. Paraná: Curitiba. 2010. p.14.

GOMES, F.P. O problema do tamanho das parcelas em experimentos com plantas arbóreas. **Revista de Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol. 19, n.12, p. 1507-1512. 1984.

LIMA, D.; POZZORON, J. **Amazônia socioambiental – Sustentabilidade ecológica e diversidade social**. Estudos Avançados v. 19, n. 54, p. 54. 2005.

LOETSCH, F.; HALLER, K.E.; ZOHRER, F. **Forest inventory**. 2. ed. Munich: BLV Verlagsgesellschaft, 1973. v.2 , p. 469.

LOUREIRO, V.R.; PINTO, J.N.A. **A questão fundiária na Amazônia**. Estudos avançados. 19, v.54, 2005.

HOSOKAWA, R.T. **Manejo e economia de florestas**. Roma: FAO, 1986. 125 p.

HOSOKAWA, R.T.; SOLTER, F. **Manejo florestal**: UFPR, 43 p. 1995.

HUSCH, B.; BEERS, T.W. KERSHAW, J.A. **Forest Mensuration**. 4 ed. New York. 443 p. 2003. Disponível em: < [http://courses.washington.edu/esrm304a/lectures/Module%204/Husch,et-al\\_ch10excerpts%20copy.pdf](http://courses.washington.edu/esrm304a/lectures/Module%204/Husch,et-al_ch10excerpts%20copy.pdf)>. Acesso em: 13 de jan. de 2015.

IMAZON, Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia. **Boletim do desmatamento da Amazônia Legal (Agosto de 2014) SAD. 2015**. Disponível em:< <http://imazon.org.br/publicacoes/boletim-do-desmatamento-da-amazonia-legal-agosto-de-2014-sad/>>. Acesso em: 10 de mai. de 2015.

MACHADO, S.A. Complete enumeration forest inventory versus cluster sampling method applied in the Amazonian Rain Forest. **Revista Floresta**, v.18, n.1-2, p.122-130, 1988.

MARTINS, F. da. S.R.V.; SANTOS, J. dos.; XAUD, M.R.; XAUD, H. **Análise de ferramenta de SIG para estimativa de biomassa potencial: um estudo de**

**caso em região de contato floresta/savana, Roraima.** XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, SBSR, Curitiba, PR. INPE p.4126. 2011.

MORAIS FILHO, A.D. de.; BRAVO, C.V.; ROQUE, R.A.M.; ANDRADE, W.F. de. **Utilização de métodos estatísticos em inventário florestal.** Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. ESALQ. São Paulo: Piracicaba. 2003. Disponível em:< <http://www.lce.esalq.usp.br/tadeu/inventarioflorestal.pdf>>. Acesso em: 15 de ab. de 2014.

NETO, S. P.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal.** Curitiba: Editorado pelos autores, 1997. p. 316.

NOGUEIRA, E.M.; FEARNside, P.M.; NELSON, B.W.; BARBOSA, R.I.; KEIZER, E.W.H. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. **Revista Forest Ecology and Management** v.256 p.1853-1867. 2008.

ODUM, E.P. **Ecologia.** Rio de Janeiro: Guanabara, 1986. 434 p.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal.** Curitiba: Editorado pelos autores, 1997. 316 p.

PEREIRA, A.R. **Biomassa e ciclagem de nutrientes minerais em povoamentos jovens de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, em região do cerrado.** 1990. 167 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais: Viçosa. 1990.

PEREIRA, J.C. Produção de biomassa em um povoamento de *Acácia mearnii* no estado do Rio Grande do Sul. Viçosa. **Revista Árvore**, v.21, n.4, p.521-526, 1997.

QUEIROZ, W.T. **Amostragem em inventário florestal.** Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2012. p.411.

REIS, M.G.F. Acúmulo de biomassa em uma sequência de idade de *Eucalyptus grandis*, plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. Viçosa. **Revista Árvore**, v.9, n.2, p.149-162, 1985.

ROLLET, B.; QUEIROZ, W.T. Observações e contribuições aos inventários florestais na Amazônia. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRA, ed. 3., 1978, Manaus. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1978. v.2, p.405-408. (Edição especial da Revista Silvicultura, n.14)

SALATI, E. Sumário executivo. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQUESTRO DE CO<sub>2</sub>.- Uma nova oportunidade de negócios para o Brasil, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, Rio de Janeiro.

SANQUETTA, C.R. **Métodos de determinação de biomassa florestal**. In: SANQUETTA, C. R. (Ed.). As florestas e o carbono. Curitiba, Brasil, 2002. p.119-140.

SARMENTO, C.A. **Contribuição dos dados LIDAR cidade para o inventário florestal municipal**. XII Colóquio ibérico de Geografia. 2010.

SCHAWLOW, A.L.; TOWNES, C.H. **Infrared and Optical Masers**. Physical Review, v.112, n.6, p.1940-1949, 1958.

SÉ, D.C.da. Efeito da correlação entre parcelas sobre a precisão em amostragem sistemática. Lavras. 63 f. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Lavras.

SFB, Serviço Florestal Brasileiro. **Relatório Anual**. 2015. Disponível em:< <http://ifn.florestal.gov.br/>>. Acesso em: 14 de jan. de 2016.

SILVA, A.G.P. da. **Estimativa da biomassa de lenho em povoamentos de Eucalyptus grandis baseada em estatística do perfil de dossel geradas por escaneamento a laser aerotransportado**. Piracicaba. 144 f. 2014.

Dissertação (Mestrado em Ciência) – Escola superior de agricultura “Luiz Queiroz”, Universidade de São Paulo.

SMITH, D.E.; ZUBER, M.T.; ABSHIRE, J.B. **Mars observer laser altimeter investigation**. Orlando. SPIE. v. 1943 p. 14-18. 1993. In: State of the art mapping,. Editado por: D. E. Smith, M.T. Zuber, J. B. Abshire.

SOARES, C.P.B.; NETO, F. de P.; SOUZA, A.L. de. **Dendrometria e inventário florestal**. 2. ed. Minas Gerais: Viçosa. Ed. UFV, 2012.

SOUZA, D.R. **Sustentabilidade ambiental e econômica do manejo em floresta ombrófila densa de terra firme, Amazônia Oriental**. 2003. 123 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2003.



## 8. Anexo 1

### Linha de Comando 1:

```
groundfilter /wparam:-1.8/gparam:1,8 /tolerance:0.1 /iterations:10  
  \EmbrapaPol_1.LAS 2 \Amostra_Embrapa_Acre_LAS.txt.
```

### Onde:

- groundfilter: comando do Fusion que filtra os dados da superfície de amostras LIDAR;
- /wparam /gparam: são os parâmetros utilizados para balancear a equação de filtragem;
- \tolerance: é parâmetro que contém o valor de tolerância para a filtragem final de pontos;
- \iterations: parâmetro que define o número de interações usadas durante a filtragem de pontos;
- \EmbrapaPol\_1.LAS: nomenclatura do arquivo de saída com pontos da superfície filtrados;
- 2: tamanho do pixel do arquivo de saída em metros;
- \Amostra\_Embrapa\_Acre\_LAS.txt: arquivo texto com os arquivos de dados LIDAR que foram utilizados para compor o modelo.

Linha de Comando 2:

```
gridsurfacecreate \Modelo_Superficie_Embrapa_Acre.dtm 1 M M 1 0 0 0  
                \Amostra_Embrapa_Acre_MDT_LAS.txt
```

Onde:

- gridsurfacecreate: comando do fusion para geração do modelo de superfície;
- \Modelo\_Superficie\_Embrapa\_Acre.dtm: é nome do arquivo que foi salvo o modelo digital de superfície;
- 1: tamanho da grade (grid) em metros;
- M: eixo X, Y (unidade em metros);
- M: eixo Z (unidade em metros);
- 1: sistema de coordenadas UTM;
- 0 0 0: sistema de coordenadas geográficas;
- \Amostra\_Embrapa\_Acre\_MDT\_LAS.txt: arquivo de entrada txt onde está os dados filtrados do LIDAR.

Linha de Comando 3:

```
gridmetrics /minht:2 /grid:641885,8886937,5110,5110  
  \Modelo_Superficie_Embrapa_Acre.dtm 2 100  
  \Metrica_100_gridmetricsPOL4.csv \Embrapa_POL_0_1.las
```

Onde:

- gridmetrics: comando do Fusion para produção de estatísticas de dados de uma amostra LIDAR;
- /minht:2: parâmetro que indica a altura mínima dos retornos que farão parte do cálculo da cobertura;
- /grid:641885,8886937,5110,5110: parâmetros que indicam a posição do ponto central da primeira célula no canto esquerdo inferior da amostra e comprimento e largura da amostra, subtraída da dimensão da célula
- \Modelo\_Superficie\_Embrapa\_Acre.dtm: DTM de superfície que será utilizado como referência no processamento;
- 2: altura mínima dos retornos que serão inseridos no cálculo das estatísticas;
- 50: tamanho da célula usada para calcular estatística, que no caso foi utilizado para os três tamanhos de parcelas 20, 50 e 100;
- \Metrica\_50\_gridmetricsPOL4.csv: arquivo de saída no formato CSV com as estatísticas computadas para a área definida pela linha de comando;
- \Embrapa\_POL\_0\_4.las: arquivo com nome e localização das amostras que serão usadas no processamento.