

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI
Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal

Brenda Letícia Rodrigues

PADRÕES ESPACIAIS E QUANTIFICAÇÃO DE ÁRVORES COMERCIAIS
NA AMAZÔNIA

Diamantina

2018

Brenda Letícia Rodrigues

**PADRÕES ESPACIAIS E QUANTIFICAÇÃO DE ÁRVORES COMERCIAIS
NA AMAZÔNIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre.

Orientador: Dr. Marcio Leles Romarco de Oliveira

Diamantina

2018

Elaborado com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

R696

Rodrigues, Brenda Letícia

Padrões espaciais e quantificação de árvores comerciais na Amazônia / Brenda Letícia Rodrigues, 2018.

121 p. : il.

Orientador: Marcio Leles Romarco de Oliveira

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2018

1. Procedimentos de amostragem. 2. Floresta Nacional do Tapajós.
3. K de Ripley. I. Oliveira, Marcio Leles Romarco de. II. Título.
III. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

CDD 634.9

BRENDA LETICIA RODRIGUES

**PADRÕES ESPACIAIS E QUANTIFICAÇÃO DE ÁRVORES COMERCIAIS
NA AMAZÔNIA**

Dissertação apresentada ao
MESTRADO EM CIÊNCIA
FLORESTAL, nível de MESTRADO
como parte dos requisitos para
obtenção do título de MESTRA EM
CIÊNCIA FLORESTAL

Orientador (a): Prof. Dr. Marcio Leles
Romarco De Oliveira

Data da aprovação : 12/11/2018



Prof. Dr. MARCIO LELES ROMARCO DE OLIVEIRA - UFVJM



Prof. Dr. EVANDRO LUIZ MENDONÇA MACHADO - UFVJM



Dr.ª JOSIANE SILVA BRUZINGA - UFVJM

DIAMANTINA

Dedico

A minha mãe Eliene Sônia Rodrigues pelo grande incentivo, amor e compreensão. A minha irmã Daylane Rodrigues de Sousa por toda a companhia e amizade. E a minha sobrinha Maria Júlia Rodrigues de Sousa (minha Muju) que me transmitiu luz e amor quando mais precisei.

A elas ofereço e dedico essa dissertação.

AGRADECIMENTOS

A minha família pelo grande apoio, incentivo e por sempre acreditar nos meus objetivos. Em especial ao meu avô e pai Admar Rodrigues, por me ensinar a ter um olhar diferenciado para a floresta por sua história de vida. E a minha inesquecível avó e mãe Dalva Rodrigues por ser meu maior exemplo.

A minha mãe Eliene Sônia Rodrigues que nunca mediu esforços para investir na minha educação. Sou muito grata por sua grande dedicação. Agradeço principalmente por sua compreensão em relação à distância e ao tempo longe nesse período. A sua tranquilidade e leveza em relação a esse assunto foram essenciais para minha tranquilidade. Mãe, meu exemplo de mulher.

A minha irmã Daylane Rodrigues de Sousa, pela companhia, amizade e por sempre me defender quando necessário.

A minha sobrinha Maria Júlia Rodrigues de Sousa (minha Muju), que é uma criança que traz muita luz e amor nos mais singelos gestos. Quando mais precisei de amor você me deu em excesso. Muito obrigada Muju.

Ao Tarcisio Tomás Cabral de Sousa, pelo companheirismo, ajuda e incentivo em todas as etapas que passei até aqui. Muito obrigada pela paciência e por ser a extensão da minha família.

Ao professor Dr. Marcio Leles Romarco de Oliveira pelo apoio, oportunidade, paciência e por ser um grande exemplo de profissional.

Aos professores Renato Bezerra da Silva Ribeiro e João Ricardo Vasconcellos Gama pelos estimáveis ensinamentos.

Ao Laboratório de Mensuração e Manejo Florestal da UFVJM, onde pude aproveitar ao máximo a experiência do mestrado e conviver com colegas fundamentais para minha formação. Em especial a Josiane Silva Bruzanga que independentemente da situação sempre foi solidária com minhas dúvidas. Muito Obrigada Josi. Ao Sollano Rabelo Braga, que nunca mediu esforços para me ajudar. Muito obrigada Sol. A Lidia Gabriella Santos que se tornou uma pessoa fundamental no meu dia a dia, uma grande amiga. A Sueliane Andrade que sempre me acalmou e me ajudou quando mais precisei. A todos os colegas do laboratório, muito obrigada.

Ao Grupo de Estudo em Mensuração e Manejo Florestal, pela experiência enriquecedora.

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri e em especial ao Departamento de Engenharia Florestal e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, pela oportunidade de realização do curso.

À Cooperativa Mista da Flona do Tapajós, por disponibilizar os dados necessários à realização deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, meu muito obrigado!

“A persistência é o menor caminho do êxito”

Charles Chaplin

PADRÕES ESPACIAIS E QUANTIFICAÇÃO DE ÁRVORES COMERCIAIS NA AMAZÔNIA

RESUMO

Objetivou-se nesta pesquisa determinar o padrão espacial e a associação interespecífica de um grupo de um conjunto de grupos de árvores comerciais da Amazônia com a função K de Ripley. Posteriormente para os grupos de árvores comerciais e com baixa densidade que possuíram padrão espacial agregado verificou-se qual procedimento de amostragem, tamanho de unidade amostral e intensidade amostral melhor se adequava aos grupos estudados. O estudo foi realizado em 2.000 ha, localizados na Floresta Nacional do Tapajós (FNT), Belterra, Pará. Foi realizado um censo florestal onde coletou-se a circunferência a 1,30 m do solo (*CAP*), igual ou superior a 158 cm, qualidade de fuste, as coordenadas cartesianas das árvores e a altura comercial (*Hc*). No capítulo 2 e 3, para o conjunto dos grupos de árvores comerciais com padrão espacial agregado e com baixa densidade, foram testados a Amostragem Casual Simples (ACS), Amostragem Sistemática (AS) e a Amostragem Adaptativa em Cluster (AAC) Multivariada com as unidades iniciais adquiridas pela ACS em diferentes tamanhos de unidades amostrais e intensidades amostrais. A largura das unidades de amostra foi fixada em 50 m e o comprimento foi de 50 a 400 m, variando em 50 em 50 m. A intensidade amostral foi a partir de 1% da área, sendo ampliada a cada 1% até que o erro menor ou igual a 10% com 95% de probabilidade fosse atingido para a variável densidade. No capítulo 1 com a função K de Ripley univariada e bivariada, o padrão espacial da maioria dos grupos de árvores comerciais variou entre agregado e aleatório. Os grupos de árvores comerciais que possuíram padrão espacial agregado em no mínimo 50% da distância de análise foram *Astronium lecointei* Ducke, *Bagassa guianensis* Aubl., *Couratari guianensis* Aubl., *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier, *Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez e *Vochysia maxima* Ducke. A maioria das associações interespecíficas foi de independência espacial. De forma geral, não ocorre competição entre os grupos de árvores comerciais analisados. Considerando que a variável de interesse em inventários florestais é a exatidão, a ACS é o procedimento mais indicado para a amostragem do conjunto de grupos de árvores estudados, apesar de a AS ter sido o procedimento que requereu menor esforço amostral para atingir o erro desejável. A AAC multivariada foi ineficiente para o conjunto dos grupos de árvores estudados, subestimando sua densidade.

Palavras-chave: Procedimentos de amostragem. Floresta Nacional do Tapajós. K de Ripley.

SPACE PATTERNS AND QUANTIFICATION OF COMMERCIAL TREES IN THE AMAZON

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the spatial pattern and interspecific association of a group of a set of commercial tree groups from Amazonia with the Ripley K function. Later, for the groups of commercial and low density trees that had an aggregate spatial pattern, it was verified which sampling procedure, sample unit size and sample intensity best suited the groups studied. The study was carried out in 2,000 ha, located in the Tapajós National Forest (FNT), Belterra, Pará. A forest census was carried out, where the circumference was collected at 1.30 m (*CAP*), equal to or greater than 158 cm, stem quality, Cartesian coordinates of trees and commercial height (*Hc*). In Chapter 2 and 3, the Simple Casual Sampling (ACS), Systematic Sampling (AS) and Multivariate Cluster Adaptive Sampling (AAC) were tested for the groups of commercial trees with aggregate spatial pattern and low density. initial units acquired by ACS in different sample unit sizes and sample intensities. The width of the sample units was set at 50 m and the length was 50 to 400 m, varying by 50 in 50 m. The sample intensity was from 1% of the area, being increased every 1% until the error less than or equal to 10% with 95% probability was reached for the variable density. In Chapter 1 with the univariate and bivariate Ripley K function, the spatial pattern of most commercial tree groups ranged from aggregate to random. The groups of commercial trees that had spatial patterns aggregated at least 50% of the analysis distance were *Astronium lecointei* Ducke, *Bagassa guianensis* Aubl., *Couratari guianensis* Aubl., *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier, *Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez e *Vochysia maxima* Ducke. Most interspecific associations were spatial independence. In general, there is no competition among the groups of commercial trees analyzed. Considering that the variable of interest in forest inventories is accuracy, ACS is the most appropriate procedure for sampling the set of groups of trees studied, although the AS was the procedure that required less sample effort to achieve the desired error. The multivariate AAC was inefficient for all groups of trees studied, underestimating their density.

Keywords: Sampling procedures. National Forest of Tapajós. K of Ripley.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	11
CAPÍTULO 1 - PADRÃO E ASSOCIAÇÕES ESPACIAIS PARA GRUPOS DE ÁRVORES COMERCIAIS DA AMAZÔNIA	
RESUMO.....	13
ABSTRACT.....	14
1 INTRODUÇÃO.....	15
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	17
2.1 Área de estudo.....	17
2.2 Coleta de dados.....	17
2.3 Análise dos dados.....	19
2.3.1 Grupo de árvores mensuradas.....	19
2.3.2 K de Ripley Univariado.....	20
2.3.3 K de Ripley Bivariado.....	22
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
3.1 Grupo de árvores mensuradas.....	24
3.2 K de Ripley Univariado.....	24
3.3 K de Ripley Bivariado.....	31
4 CONCLUSÕES.....	37
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
CAPÍTULO 2 - PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM TRADICIONAIS PARA GRUPO DE ÁRVORES COMERCIAIS COM PADRÃO ESPACIAL AGREGADO E COM BAIXA DENSIDADE NA AMAZÔNIA	
RESUMO.....	42
ABSTRACT.....	43
1 INTRODUÇÃO.....	44
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	46
2.1 Área de estudo.....	46
2.2 Coleta de dados.....	46
2.3 Grupo de árvores mensuradas.....	47
2.4 Análise dos dados.....	47
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52

3.1 Grupo de árvores comerciais.....	52
3.2 Estimador de Razão.....	53
3.3 Precisão e Exatidão.....	54
3.4 Tamanho da unidade de amostra.....	60
3.5 Grupo de árvores comerciais amostradas.....	61
3.6 F de Graybill.....	63
3.7 Área basal e volume.....	65
4 CONCLUSÕES.....	67
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
APÊNDICE A.....	71

CAPÍTULO 3 - AMOSTRAGEM ADAPTATIVA EM CLUSTER MULTIVARIADA PARA GRUPOS DE ÁRVORES COMERCIAIS E COM BAIXA DENSIDADE DA AMAZÔNIA

RESUMO.....	87
ABSTRACT.....	88
1 INTRODUÇÃO.....	89
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	90
2.1 Área de estudo.....	90
2.2 Coleta de dados.....	90
2.3 Grupo de árvores mensuradas.....	91
2.4 Análise dos dados.....	91
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	94
3.1 Padrão espacial.....	94
3.2 Procedimento de amostragem.....	94
4 CONCLUSÕES.....	102
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
APÊNDICE B.....	105
3 CONCLUSÕES GERAIS.....	121

1 INTRODUÇÃO GERAL

Na Amazônia a demanda por produtos florestais madeireiros é grande, e possuir informações sobre esses produtos de forma exata e precisa é essencial. Para se ter um bom planejamento presente e futuro do estoque madeireiro é necessário o correto uso dos procedimentos de amostragem, levando em consideração as características particulares do grupo de árvores de interesse.

Dessa forma, a presente dissertação intitulada “Padrões espaciais e quantificação de árvores comerciais na Amazônia”, foi realizada com dados de censo florestal em uma área total de 2.000 ha da Floresta Nacional do Tapajós (FNT), localizada no município de Belterra, estado do Pará. A FNT é referência em manejo florestal comunitário na região, promove a utilização múltipla dos recursos naturais sob o regime de rendimento sustentado. Possibilita ações de manejo florestal em sua extensão, onde desde 2006 as populações residentes na unidade, fazem a gestão dos recursos madeireiros.

A dissertação foi estruturada em três capítulos. O primeiro capítulo intitulado “Padrão e associações espaciais para grupos de árvores comerciais da Amazônia”, teve como objetivos determinar o padrão do conjunto de dez grupos de árvores comerciais da FNT e suas associações espaciais com a função K de Ripley. O conjunto dos grupos de árvores estudados foram formados por espécies que possuem na região alta frequência de exploração e um alto valor de comercialização. A função K de Ripley foi utilizada por ser uma das metodologias mais precisas dentre as metodologias citadas na literatura para os objetivos em questão.

O segundo capítulo intitulado “Procedimentos de amostragem tradicionais para grupo de árvores comerciais com padrão espacial na Amazônia”, teve como objetivo determinar qual procedimento de amostragem entre Amostragem Casual Simples (ACS) e Amostragem Sistemática (AS) melhor estimava a densidade do conjunto dos grupos de árvores comerciais que possuíram de acordo com o capítulo 1 padrão espacial agregado e baixa densidade. A comparação entre os dois procedimentos foi realizada baseando-se na precisão e exatidão. A ACS e AS foram utilizadas no trabalho por serem procedimentos bastante usuais na região. Apesar de não serem procedimentos de amostragem indicados na literatura para a estimativa da densidade de grupos com o padrão estudado.

O terceiro capítulo intitulado “Amostragem adaptativa em cluster multivariada para grupos de árvores comerciais da Amazônia”, teve como objetivo verificar se a Amostragem adaptativa em cluster (AAC) multivariada seria eficiente para o conjunto de grupos de árvores com padrão espacial agregado e baixa densidade na Amazônia. A AAC foi utilizada por ser

indicada como um dos procedimentos de amostragem ideais para estimar a densidade de grupos de árvores com o padrão espacial em estudo.

Espera-se, com o presente estudo, colaborar para o enriquecimento dos conhecimentos para a região Amazônica e em especial para a FNT, sobre fatores que influenciam de forma direta o manejo florestal, a colheita florestal e ações de conservação.

CAPÍTULO 1
PADRÃO E ASSOCIAÇÕES ESPACIAIS PARA GRUPOS DE ÁRVORES
COMERCIAIS DA AMAZÔNIA

RESUMO

O objetivo do trabalho foi determinar o padrão espacial e a associação interespecífica de um conjunto de grupos de árvores comerciais da Amazônia, utilizando a função K de Ripley. Realizou-se um censo florestal em uma área de 2.000 ha localizada na Floresta Nacional do Tapajós (FNT), Belterra, Pará. No censo coletou-se a circunferência a 1,30 m do solo (CAP), igual ou superior a 158 cm e as coordenadas cartesianas de dez espécies comercializadas na região e de suas respectivas árvores aptas ao comércio. Para a função K de Ripley assumiu-se o valor de raio para as análises igual a 5 m, variando a uma distância máxima de 1.500 m. Para a função K univariada foram realizadas 500 simulações Monte Carlo e para a função bivariada foram realizadas 500 simulações toroidais, ambas com 99,8% de probabilidade. As associações interespecíficas foram analisadas para o conjunto de grupos de árvores comerciais que possuíram um padrão espacial igual ou superior a 50% da distância de análise da função K univariada em agregado. A densidade dos grupos de árvores foi relativamente baixa, influenciada pelos critérios usados para a classificação das árvores como aptas ao comércio. A densidade foi de 0,10 (*Apuleia moralis* Spruce ex Benth.), 0,13 (*Astronium lecointei* Ducke), 0,12 (*Bagassa guianensis* Aubl.), 1,20 (*Couratari guianensis* Aubl.), 0,19 (*Hymenaea parvifolia* Huber), 0,06 (*Hymenolobium petraeum* Ducke), 0,24 (*Lecythis pisonis* Cambess.), 0,45 (*Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier), 0,25 (*Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez) e 1,21 árvores por hectare (*Vochysia maxima* Ducke). O padrão espacial da maioria dos grupos de árvores comerciais variou entre agregado e aleatório, apenas um grupo apresentou um padrão sem variações e nenhum grupo apresentou padrão regular. O conjunto dos grupos de árvores comerciais que possuíram padrão espacial agregado em no mínimo 50% da distância de análise foram *A. lecointei*, *B. guianensis*, *C. guianensis*, *M. huberi*, *M. itauba*, *V. maxima*. De maneira geral, as associações encontradas foram em sua maioria com os grupos de árvores comerciais que possuíram um padrão agregado. Das 12 associações positivas e 1 negativa, apenas 2 (positivas) foram com grupo de árvores comerciais de padrão predominantemente aleatório. A maioria das associações interespecíficas foi de independência espacial. De forma geral, não ocorre competição entre os grupos de árvores comerciais analisadas.

Palavras-chave: K de Ripley univariado. K de Ripley bivariado. FNT.

CHAPTER 1
STANDARD AND SPACE ASSOCIATIONS FOR AMAZON COMMERCIAL TREE
GROUPS

ABSTRACT

The objective of this work was to determine the spatial pattern and interspecific association of a group of commercial tree groups in the Amazon, using the Ripley K function. A forest census was carried out in an area of 2,000 ha located in the Tapajós National Forest (FNT), Belterra, Pará. In the census, the circumference was 1.30 m above the ground (CAP), equal to or greater than 158 cm and the Cartesian coordinates of ten species traded in the region and their respective trees suitable for trade. For the Ripley function K the radius value for the analyzes was assumed to be 5 m, varying at a maximum distance of 1,500 m. For the univariate K function, 500 Monte Carlo simulations were performed and for the bivariate function 500 toroidal simulations were performed, both with 99.8% probability. The interspecific associations were analyzed for the set of commercial tree groups that had a spatial pattern equal to or greater than 50% of the analysis distance of the univariate K function in the aggregate. The density of the tree groups was relatively low, influenced by the criteria used to classify trees as fit for trade. The density was 0.10 (*Apuleia moralis* Spruce ex Benth.), 0,13 (*Astronium lecointei* Ducke), 0,12 (*Bagassa guianensis* Aubl.), 1,20 (*Couratari guianensis* Aubl.), 0,19 (*Hymenaea parvifolia* Huber), 0,06 (*Hymenolobium petraeum* Ducke), 0,24 (*Lecythis pisonis* Cambess.), 0,45 (*Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier), 0,25 (*Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez) e 1,21 trees per hectare (*Vochysia maxima* Ducke). The spatial pattern of most commercial tree groups ranged from aggregate to random, only one group presented a pattern without variations and no group showed a regular pattern. The set of commercial tree groups that had spatial patterns aggregated at least 50% of the analysis distance were *A. lecointei*, *B. guianensis*, *C. guianensis*, *M. huberi*, *M. itauba*, *V. maxima*. In general, the associations found were mostly with groups of commercial trees that had an aggregate pattern. Of the 12 positive and 1 negative associations, only 2 (positive) were with a predominantly random commercial tree group. Most interspecific associations were spatial independence. In general, there is no competition among the groups of commercial trees analyzed.

Keywords: Univariate Ripley's K. K of Ripley bivariate. FNT.

1 INTRODUÇÃO

O padrão espacial de uma população florestal é representado pelo arranjo de suas árvores na área em estudo (DALMASO *et al.*, 2012), conforme as diversas associações naturais. E pode ocorrer de forma uniforme, aleatório ou agregada (DAJOZ, 1972). Além dessas características, o padrão espacial e as relações interespecíficas revelam informações sobre exigências por um mesmo hábitat, partição de hábitat e exclusão competitiva da população (HIGUCHI *et al.*, 2011).

Existem dois principais tipos de métodos para determinar o padrão espacial de uma população florestal. Um utiliza parcelas de área fixa, baseando-se em dados de contagem de árvores nas unidades amostrais e o outro diz respeito a métodos que não utilizam parcelas, e baseiam-se em cálculos de distâncias (LEDO; CONDÉS; MONTES, 2012). Dentre os métodos que não utilizam unidades amostrais a função K de Ripley é uma das ferramentas estatísticas mais precisas, e é utilizada tanto para a determinação do padrão espacial, como para a análise das associações espaciais entre grupos de árvores (PANNUTI, 2009).

Uma das vantagens da função K de Ripley (RIPLEY, 1977) univariada sobre os demais métodos, principalmente daqueles baseados em unidades amostrais, é a determinação do padrão espacial para uma variedade de escalas de distâncias (WIEGAND; MOLONEY, 2004), ou seja, uma população pode apresentar variações em seu padrão espacial. Outra vantagem é não ser influenciado pelo tamanho de parcela, nem pelo padrão de sua distribuição na área (BRUZINGA *et al.*, 2013), fatores que na maioria das vezes inviabilizam a generalização dos resultados obtidos por métodos baseados em unidades amostrais e acabam proporcionando perda de informação.

De forma geral, a função K é baseada em contagem e em distância. Analisa o padrão de acordo com as coordenadas reais (x,y) das árvores e usa informações de todas as distâncias entre todos os pontos da análise. De forma análoga a função K univariada, a função bivariada, por sua vez, investiga a relação espacial entre árvores competidoras em potencial. É baseada na contagem de árvores vizinhas do tipo *b* ao redor de qualquer árvore tipo *a* (WIEGAND; MOLONEY, 2004). E dessa forma, analisa se a relação entre os dois grupos de árvores é de atração, independência ou inibição (MACHADO *et al.*, 2012). Apesar das vantagens e aplicabilidade nas decisões que cercam o manejo florestal, na Amazônia esses métodos ainda não são muito usuais.

Uma população florestal, pode apresentar padrão espacial e relação interespecífica bastante irregular, nas suas diferentes classes de tamanho de diâmetro (SILVA, K *et al.*, 2012), por questões de sobrevivência, competição, dispersão e outras. Dessa forma, em florestas

manejadas da Amazônia, para as classes de tamanho que contemplam o conjunto dos grupos de árvores aptas ao comércio, informações específicas e precisas são essenciais.

O conjunto dos grupos de árvores comerciais norteia todo o planejamento para a colheita e atividades silviculturais posteriores, já que são as árvores objeto do manejo florestal. Na maioria das vezes, na prática as informações que baseiam as tomadas de decisões são generalistas para esse conjunto de grupos de árvores, o que ocasiona imprecisões em diferentes vertentes ao planejamento florestal presente e futuro.

A forma como um grupo de árvores se distribui geograficamente e como se relaciona com outros grupos de diferentes espécies, são informações de extrema importância para técnicas de manejo florestal (ANJOS *et al.*, 1998; NASCIMENTO; CARVALHO; LEÃO, 2002; HIGUCHI *et al.*, 2011). Subsidiarão a definição do processo de amostragem mais adequado a ser utilizado, os critérios para selecionar as árvores a serem removidas da população e ações silviculturais visando ciclos de corte futuros. Além de proporcionar um melhor entendimento da dinâmica florestal antes e após o manejo e de auxiliar em estratégias de conservação.

Desta forma, o objetivo do trabalho foi determinar o padrão espacial e a associação interespecífica de um conjunto de grupos de árvores comerciais da Amazônia, utilizando a função K de Ripley.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na área de manejo florestal sob concessão não onerosa destinada à Cooperativa Mista Flona do Tapajós (COOMFLONA), referência em manejo florestal comunitário no oeste do Pará. Localiza-se na Floresta Nacional do Tapajós (FNT), uma unidade de conservação criada pelo Decreto nº 73.684 de 1974 (BRASIL, 1974), para promover a utilização múltipla dos recursos naturais sob o regime de rendimento sustentado.

A FNT fica localizada no município de Belterra, estado do Pará, com uma área de 544.927 ha, entre as coordenadas geográficas 2°45' e 4°10' "S" e 54°45' e 55°30' "W" (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2004). A FNT possibilita ações de manejo florestal em sua extensão, onde desde 2006 as populações residentes na unidade, fazem a gestão dos recursos madeireiros.

A FNT situa-se na zona de Floresta Ombrófila Densa, vegetação dominante no norte do país, caracterizado por árvores de grande porte variando de 25 a 50 m de altura (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 1990). O regime de temperaturas é elevado com precipitações distribuídas ao longo do ano. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Ami, ou seja, tropical úmido, a precipitação acumulada anual é de 1.983 mm/ano e temperatura média anual de 25,5°C. O período chuvoso ocorre, principalmente, de janeiro a maio, representando 69,53% da precipitação do ano (ESPÍRITO-SANTO, 2003). Os solos na região do estudo são do tipo Latossolo Amarelo Distrófico, textura argilosa e Latossolo Amarelo Distrófico, textura muito argilosa, relevo suave e suavemente ondulado. O ambiente geológico da área de estudo é de alto platô com um relevo mais plano (ESPÍRITO-SANTO, 2003).

2.2 Coleta de dados

Os dados foram obtidos em 20 Unidades de Trabalho (UTs), com área total de 2.000 ha, nas Unidades de Produção Anual (UPA) 08 e 09 (Figura 1).

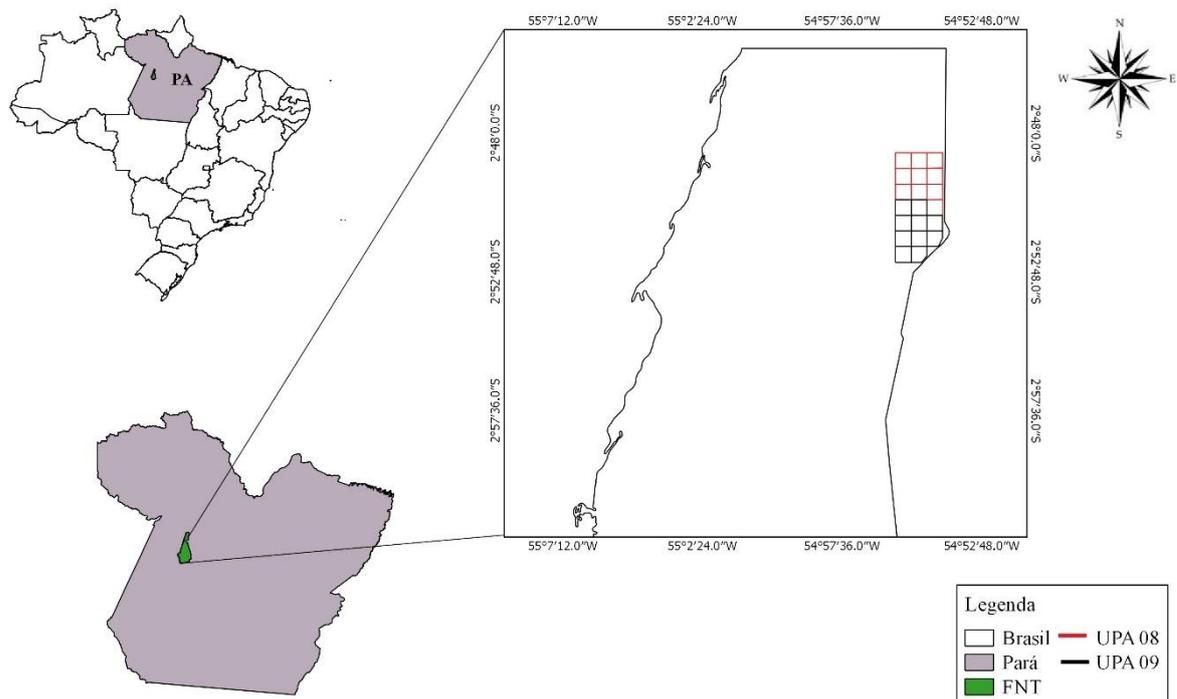


Figura 1. Mapa de localização das Unidades de Produção Anual (UPA) 08 e 09 na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra, Pará.

A coleta de dados foi realizada por censo florestal na área de manejo das UPAs 08 e 09, totalizando uma área de estudo de 2.000 hectares na FNT. O censo foi executado antes da exploração madeireira realizada na área, a UPA 08 foi explorada em 2013 e a UPA 09 em 2014.

No censo coletou-se a circunferência a 1,30m do solo (*CAP*), igual ou superior a 158 cm, de espécies comercializadas pela COOMFLONA e de suas respectivas árvores aptas ao comércio. Os critérios usados na FNT para essa classificação englobam a legislação vigente, tendo como base a IN 05/2006 (BRASIL, 2006) e parâmetros estabelecidos pela cooperativa, que visam uma maior qualidade da madeira a ser explorada. A árvore para ser considerada comercial na FNT deve apresentar $DAP \geq 50$ cm, não possuir fuste bifurcado ou cônico e possuir a qualidade do fuste como reto ou pouco tortuoso.

Foi coletado também, as coordenadas cartesianas das árvores com características comerciais. No censo as UPAs foram divididas em UTs de 100 ha cada (1.000 x 1.000 m), nas quais foram abertas picadas paralelas na direção norte-sul, distantes 50 m entre si. Em cada picada foram colocadas balizas a cada 25 m, com a respectiva metragem em relação à origem, para posterior registro das coordenadas Y de cada árvore. A coordenada X de cada árvore foi obtida por meio do número da picada e da distância de cada árvore em relação a picada. Ao

final de cada picada, movia-se para a picada seguinte e executava a mesma rotina de trabalho, e assim sucessivamente até completar a última picada de cada UT (GARCIA; LUZ; GAMA, 2015).

2.3 Análise de dados

2.3.1 Grupo de árvores mensuradas

O grupo das árvores comerciais mensuradas no censo florestal foi formado pelas espécies *Apuleia moralis* Spruce ex Benth., *Astronium lecointei* Ducke, *Bagassa guianensis* Aubl., *Couratari guianensis* Aubl., *Hymenaea parvifolia* Huber, *Hymenolobium petraeum* Ducke, *Lecythis pisonis* Cambess., *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier, *Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez e *Vochysia maxima* Ducke.

A cada UPA são selecionadas pela cooperativa em torno de 26 espécies para a exploração. Os critérios de seleção das espécies para o estudo foram apresentar alta frequência de exploração e possuir grande representatividade econômica na área, para formar um grupo de espécies representativo para o estudo dentre as 26 espécies exploradas a cada ano. As espécies selecionadas estão listadas na tabela 1, com seu valor de comercialização por m³ em 2015 e sua respectiva porcentagem de volume colhido nas duas unidades de produção estudadas.

Tabela 1. Espécies selecionadas para a análise do padrão espacial e relação interespecífica, preço do m³ em 2015 em reais e em dólar e porcentagem de volume colhido nos anos de 2013 e 2014 na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra, Pará.

Nome científico	Nome popular	Preço em R\$/m ³	Preço em US\$/m ³	Volume colhido em 2013 (%)	Volume colhido em 2014 (%)
<i>Apuleia moralis</i>	Garapeira	280	1.013,24	1,12	1,48
<i>Astronium lecointei</i>	muiracatiara	330	1.194,17	0,95	3,80
<i>Bagassa guianensis</i>	Tatajuba	223	806,97	4,58	1,21
<i>Couratari guianensis</i>	Tauari	260	940,86	16,03	11,25
<i>Hymenaea parvifolia</i>	jutaí mirim	330	1.194,17	2,81	2,93
<i>Hymenolobium petraeum</i>	angelim pedra	320	1.157,98	3,56	1,52
<i>Lecythis pisonis</i>	Sapucaia	230	832,30	0,91	1,13
<i>Manilkara huberi</i>	maçaranduba	290	1.049,42	4,18	9,41
<i>Mezilaurus itauba</i>	Itaúba	230	832,30	2,34	3,42

Continua...

Nome científico	Nome popular	Preço em R\$/m ³	Preço em US\$/m ³	Volume colhido em 2013 (%)	Volume colhido em 2014 (%)
<i>Vochysia maxima</i>	Quaruba	225	814,21	14,25	16,42
Outras espécies	-	-	-	49,27	47,42

* Valor médio do dólar em 2018 até outubro foi de R\$ 3,62. Cotação diária do Dólar (fechamento), divulgada pelo Banco Central do Brasil.

Fonte: ASSOCIAÇÃO COMERCIAL, INDUSTRIAL E DE SERVIÇOS DE NOVO HAMBURGO, CAMPO BOM E ESTÂNCIA VELHA, 2018.

2.3.2 K de Ripley Univariado

O padrão espacial das dez espécies selecionadas foi analisado somente para suas árvores que foram consideradas como aptas para a exploração, ou seja, as árvores com características comerciais. O método de K de Ripley (RIPLEY, 1977) univariado, usa todas as distâncias ponto-a-ponto (árvore a árvore) para descrever padrões espaciais. No procedimento de análise, um círculo de raio s é centrado em cada ponto (árvore) e o número de vizinhos dentro do círculo é contado (KUULUVAINEN; ROUVINEN, 2000). Com esse processo avalia-se o número médio de árvores ao redor de cada uma das diferentes árvores em função de uma determinada distância, permitindo caracterizar o padrão espacial em diferentes escalas (Figura 2).

Basicamente, um círculo de raio s é centrado em cada evento, sendo calculada a frequência em que ocorrem outros eventos na área deste círculo (ANJOS *et al.*, 2004). Deste modo, a análise foi feita na área de um círculo de raio s , crescente com um incremento constante até a escala máxima de análise (PEREIRA *et al.*, 2013). Assumiu-se o valor de $s = 5$ m, para todas as análises realizadas no estudo, variando o raio a uma distância máxima de 1.500 m. O intuito foi analisar o padrão espacial com um certo detalhamento, característica que se perde ao aumentar o s , apesar da tendência do padrão não ser influenciado. A distância máxima foi determinada por ser equivalente a metade do eixo x da área de estudo (DIGGLE, 1983).

Em alguns círculos de raio s que se localizam parcialmente fora da área de estudo poderia ocorrer efeito de borda, apresentando menos pontos do que de fato existem, causando um viés nos valores (WIEGAND; MOLONEY, 2004). Para anular o efeito de borda da análise foi usado a correção isotrópica de bordadura (RIPLEY, 1977), a propriedade de isotropia garante que os efeitos direcionais entre dois eventos numa distância d_{ij} sejam invariantes.

A correção isotrópica de bordadura estima os pontos perto da borda com um peso proporcional para a porção do círculo que está dentro do limite da área de estudo. Por exemplo, se apenas metade do círculo cair na região de estudo, a função K conta efetivamente dois pontos para cada ponto encontrado no círculo incompleto (WIEGAND; MOLONEY, 2004). A estimativa de $\widehat{K}(s)$ (DIXON, 2002) é dada pela equação:

$$\widehat{K}(s) = \frac{R}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n \frac{I_s(d_{ij})}{W_{ij}} \quad (1)$$

em que: s é o raio centrado em cada árvore com incremento até a distância máxima; R é a área da região em estudo em “ s ”; n é o número de árvores em uma área de raio “ s ”; (d_{ij}) é a distância entre o ponto s_i e o ponto s_j ; i é a árvore no qual é centrado o raio “ s ”; j é a árvore que ocorre dentro do círculo de raio “ s ” centrado em i ; $I_s(d_{ij})$ é uma função indicadora cujo valor é 1 se $d_{ij} \leq s$ e 0 caso contrário; W_{ij} é a correção isotrópica de borda para remover o viés introduzido pela borda de R .



Figura 2. Ilustração do procedimento para se obter o padrão espacial por meio da função $K(s)$ de Ripley univariada. A parte do círculo com linha pontilhada representa a correção de borda isotrópica.

Foram construídos envelopes de confiança a partir do modelo de Completa Aleatoriedade Espacial (processo homogêneo de Poisson), com o método de Monte Carlo, que reproduz a análise para um número de repetições aleatórias. Foram realizadas 500 simulações (m) Monte Carlo, com 99,8% de probabilidade $((1/(1+m)) \times 100\%)$. Dessa forma, foram

simulados padrões espaciais aleatórios, ou seja, ocorreu uma redistribuição de todas as árvores aleatoriamente na área de estudo, de acordo com o número de simulações determinado, construindo os envelopes de confiança através dos maiores e menores valores calculados da função K.

Em seguida, foi calculada a função K para os dados reais, comparando-se o padrão observado com os envelopes de confiança gerados. Para facilitar a análise, os valores da função $\hat{K}(s)$ foram transformados para $\hat{L}(s)$ (RIPLEY, 1979), e distribuídos graficamente, em que os eixos das abscissas e ordenadas representam, respectivamente, as distâncias s acumuladas e os valores transformados da função K.

$$\hat{L}(s) = \frac{\sqrt{\hat{K}(s)}}{\pi} - s, s > 0. \quad (2)$$

em que: $\hat{L}(s)$ é a função $\hat{K}(s)$ transformada.

De acordo com os envelopes de confiança identificados por duas linhas pontilhadas graficamente, uma positiva e outra negativa, se os valores observados de $\hat{L}(s)$ estiverem dentro dos envelopes construídos, o padrão espacial é aleatório. O padrão espacial será agregado se a função $\hat{L}(s)$ estiver acima do limite superior e se estiver abaixo o padrão espacial será regular (WIEGAND; MOLONEY, 2004).

2.3.3 K de Ripley Bivariado

Para analisar as relações espaciais entre os grupos de árvores comerciais das diferentes espécies, utilizou-se a função K de Ripley bivariada (RIPLEY, 1981). Que avalia a independência entre os grupos, gerada por diferentes processos (BAROT; GIGNOUX; MENAUT, 1999). Os grupos de árvores comerciais que possuíram um padrão espacial igual ou superior a 50% da distância de análise da função K univariada em agregado de forma acumulativa, obtiveram suas relações de associações analisadas em relação aos demais grupos.

Para estimar a função K de Ripley bivariada (DIXON, 2002) utilizou-se o estimador de Ripley de modo análogo ao caso univariado (Equação 3):

$$\hat{K}_{12}(s) = \frac{R}{n_1 n_2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} \frac{I_s(d_{ij})}{W_{ij}} \quad (3)$$

em que: $\hat{K}_{12}(s)$ é a função bivariada; n_1 e n_2 são o número de árvores nas populações em comparação em uma área de raio “ s ”; i é a árvore da espécie A no qual é centrado o raio “ s ”; j é a árvore da espécie B que ocorre dentro do círculo de raio “ s ” centrado em i .

A completa independência espacial entre as espécies foi analisada através de 500 simulações toroidais (toroidal shifts) (BAROT; GIGNOUX; MENAUT, 1999), produzindo envelopes de confiança com 99,8% de probabilidade. Idealmente, os padrões simulados deveriam preservar as características dos padrões espaciais intraespecíficos, enquanto randomizavam as posições da espécie j em relação às plantas da espécie i (COOMES; REES; TURNBULL, 1999). Essa metodologia consiste em pegar a área de estudo e tratá-la como um toro, ou seja, as bordas inferior e superior são unidas assim como bordas da direita e esquerda, com a forma resultante semelhante a de um pneu. O evento tipo 1 é fixado por completo, feito isso é gerado um novo processo para o evento tipo 2, o qual é traduzido aleatoriamente no toro (BAROT; GIGNOUX; MENAUT, 1999; DIXON, 2002).

Valores da função acima do limite superior indicam associação positiva (atração), valores abaixo do limite inferior indicam associação negativa (repulsão) e valores dentro dos envelopes de confiança indicam a completa independência espacial. Duas espécies, i e j , possuem repulsão quando observamos um número menor de árvores da espécie j em torno de árvores da espécie i , do que poderia ser esperado para uma distribuição totalmente aleatória. Associação positiva é definida semelhantemente, mas envolve um excesso, ao invés de um déficit (COOMES; REES; TURNBULL, 1999).

O processamento e análise dos dados foram realizados no software R Core Team (2017) 3.4.2, por meio da plataforma RStudio, o pacote Splanx foi utilizado (ROWLINGSON; DIGGLE, 1993) para o processamento da função K de Ripley.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Grupo de árvores mensuradas

Foram mensuradas ao todo 7.858 árvores comerciais aptas para a exploração dentre as espécies estudadas, 23,13% apresentaram fuste considerado reto e 76,87% tinham fuste pouco tortuoso. A média de *DAP* foi de 74,37 cm, com um desvio padrão médio de 21,11 cm (Tabela 2).

Tabela 2. Valores mínimos (mín.), máximos (máx.), médios (méd.), desvio padrão do *DAP* (cm) e o número de árvores absoluto para cada espécie estudada na Floresta nacional do Tapajós, Belterra, Pará.

Nome científico	Nome popular	<i>DAP</i> (cm)				n° de árvores
		mín.	máx.	méd.	desvio padrão	
<i>Apuleia moralis</i>	Garapeira	50,29	125,00	73,69	20,45	198
<i>Astronium lecointei</i>	Muiracatiara	50,29	219,63	74,82	21,46	258
<i>Bagassa guianensis</i>	Tatajuba	50,93	136,87	73,33	20,7	230
<i>Couratari guianensis</i>	Tauari	50,29	237,14	74,46	21,25	2.398
<i>Hymenaea parvifolia</i>	jutaí mirim	50,29	159,15	72,78	21,12	372
<i>Hymenolobium petraeum</i>	angelim pedra	50,29	203,72	76,14	21,07	117
<i>Lecythis pisonis</i>	Sapucaia	50,29	163,29	75,44	21,14	470
<i>Manilkara huberi</i>	Maçaranduba	50,29	184,62	74,41	21,22	900
<i>Mezilaurus itauba</i>	Itaúba	50,29	340,00	75,49	21,39	490
<i>Vochysia maxima</i>	Quaruba	50,29	573,91	75,14	21,32	2.425
	Média	50,36	234,33	74,37	21,11	-
	Total	-	-	-	-	7.858

3.2 K de Ripley univariado

A densidade dos grupos de árvores foi de 0,10 indivíduos por hectare (*A. moralis*), 0,13 indivíduos por hectare (*A. lecointei*), 0,12 indivíduos por hectare (*B. guianensis*), 1,20 indivíduos por hectare (*C. guianensis*), 0,19 indivíduos por hectare (*H. parvifolia*), 0,06 indivíduos por hectare (*H. petraeum*), 0,24 indivíduos por hectare (*L. pisonis*), 0,45 indivíduos por hectare (*M. huberi*), 0,25 indivíduos por hectare (*M. itauba*) e 1,21 indivíduos por hectare (*V. maxima*). A densidade baixa encontrada, foi influenciada pelos critérios usados para a classificação das árvores como aptas ao comércio. Em se tratando de manejo florestal em áreas tropicais, a baixa densidade (ALVES; MIRANDA, 2008; CONDÉ; TONINI, 2013) implica em

extrema cautela nas operações de planejamento e execução das atividades florestais. Principalmente quando se pensa a longo prazo, como em ciclos de cortes futuros, ponderando produção e qualidade da madeira.

Visualmente as espécies refletem essa densidade baixa, com um número de árvores por hectare mais elevado para *V. maxima* e *C. guianensis*, que possuem densidade superior a uma árvore (Figura 3). Os grupos de árvores comerciais apresentam baixa densidade em determinados locais e aglomerados com maior densidade em outros, confirmando a necessidade de planejar estratégias de manejo específicas, como um número diferente de árvores a serem conservadas para uma mesma espécie em diferentes locais da área de manejo. Isso poderia minimizar os impactos nas espécies mais especialistas em alguns habitats, como as que possuem padrão espacial agregado (ALVES; MIRANDA, 2008).

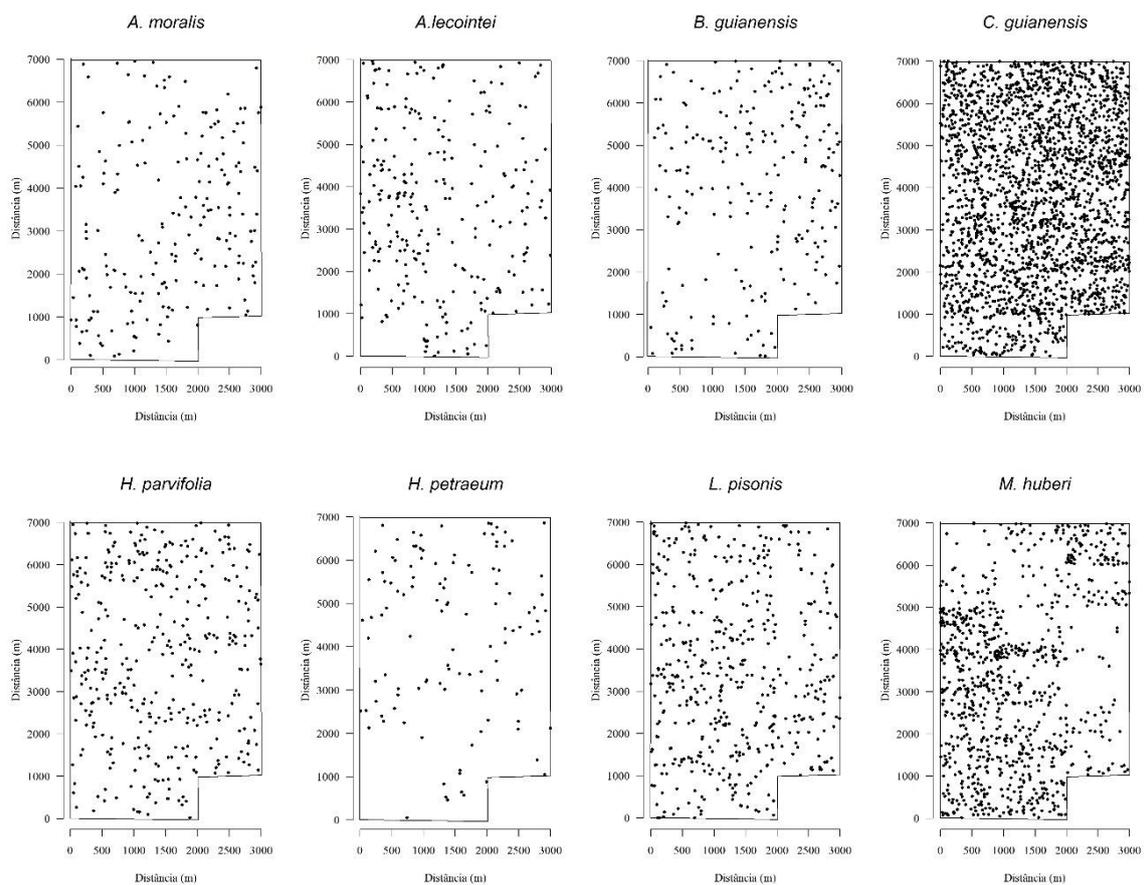


Figura 3 continua...

Continua...

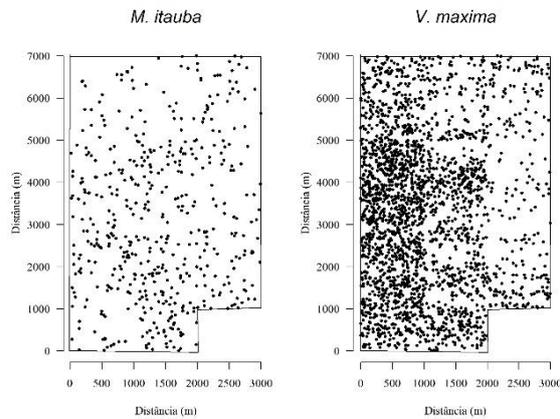


Figura 3. Localização das árvores comerciais das espécies estudadas na área de 2.000 ha, na Floresta nacional do Tapajós, Belterra, Pará.

O padrão espacial da maioria dos grupos de árvores comerciais variou entre agregado e aleatório, apenas um grupo apresentou um padrão sem variações. Essas variações podem estar relacionadas a como esse grupo se estabelece em diferentes ambientes, levando em consideração que em diferentes ambientes a disponibilidade de recursos é heterogênea e ocorre competição por esses recursos. Os padrões espaciais das árvores de interesse são apresentados na figura 4 e suas variações são apresentadas na tabela 3.

Tabela 3. Variações do padrão espacial obtido pela função K de Ripley univariado para os grupos comerciais da Floresta nacional do Tapajós, Belterra, Pará.

Nome científico	Nome popular	Padrão espacial		
		Aleatório	Agregado	Uniforme
<i>Apuleia moralis</i>	Garapeira	0 – 565 m	565 – 575 m	
		575 – 580 m	580 – 620 m	
		620 – 640 m	640 – 740 m	
		740 – 1.020 m	1.020 – 1.025 m	
		1.025 – 1.500 m		
<i>Astronium lecointei</i>	Muiracatiara	0 – 110 m	110 – 1.119 m	
		1.119 – 1.215 m	1.215 – 1.315 m	
		1.315 – 1.500 m		

Continua...

Nome científico	Nome popular	Padrão espacial		
		Aleatório	Agregado	Uniforme
<i>Bagassa guianensis</i>	Tatajuba	0 – 325 m	325 – 1.130 m	-
		1.130 – 1.145 m	1.145 – 1.370 m	
		1.370 – 1.415 m	1.415 – 1.490 m	
		1.490 – 1.500 m		
<i>Couratari guianensis</i>	Tauari	5 – 65 m	0 – 5 m	-
			65 – 1.500 m	
<i>Hymenaea parvifolia</i>	jutaí mirim	0 – 330 m	330 – 735 m	-
		735 – 780 m	780 – 865 m	
		865 – 925 m	925 – 935 m	
		935 – 1.500 m		
<i>Hymenolobium petraeum</i>	angelim pedra	0 – 325 m	325 – 375 m	-
		375 – 390 m	390 – 405 m	
		405 – 450 m	450 – 585 m	
		585 – 620 m	620 – 690 m	
		690 – 715 m	715 – 915 m	
		915 – 920 m	920 – 1.025 m	
		1.025 – 1.070 m	1.070 – 1.085 m	
		1.085 – 1.390 m	1.390 – 1.405 m	
		1.405 – 1.500 m		
<i>Lecythis pisonis</i>	Sapucaia	0 – 20 m	20 – 30 m	-
		30 – 35 m	35 – 60 m	
		60 – 70 m	70 – 135 m	
		135 – 140 m	140 – 325 m	
		325 – 1.500 m		
<i>Manilkara huberi</i>	Maçaranduba	7 – 10 m	0 – 7 m	-
			10 – 1.500 m	
<i>Mezilaurus itauba</i>	Itaúba	0 – 85 m	85 – 1.500 m	-
<i>Vochysia maxima</i>	Quaruba	-	0 – 1.500 m	-

As árvores comerciais de *A. lecointei* obtiveram algumas variações em seu padrão espacial. Em um estudo realizado em Rondônia, na Floresta Nacional do Jamari, usando a

função K de Ripley não homogênea para árvores com $DAP \geq 40$ cm, o padrão foi agregado de 50 até aproximadamente 120 m de uma distância máxima de 250 m (CYSNEIROS; DALMASO; PELISSARI, 2018).

O grupo de árvores comerciais de *M. itauba* possuiu padrão espacial aleatório até 85 m e se estabeleceu em agregado a partir desse valor até o limite máximo estudado. Em um estudo realizado no Amazonas com $DAP \geq 10$ cm, as árvores de *M. itauba* possuíram um padrão aleatório em seus 200 metros estudados com K de Ripley (SILVA, A., 2015). Padrão semelhante ao encontrado nesse estudo nos primeiros metros, mesmo com nível de inclusão diferente.

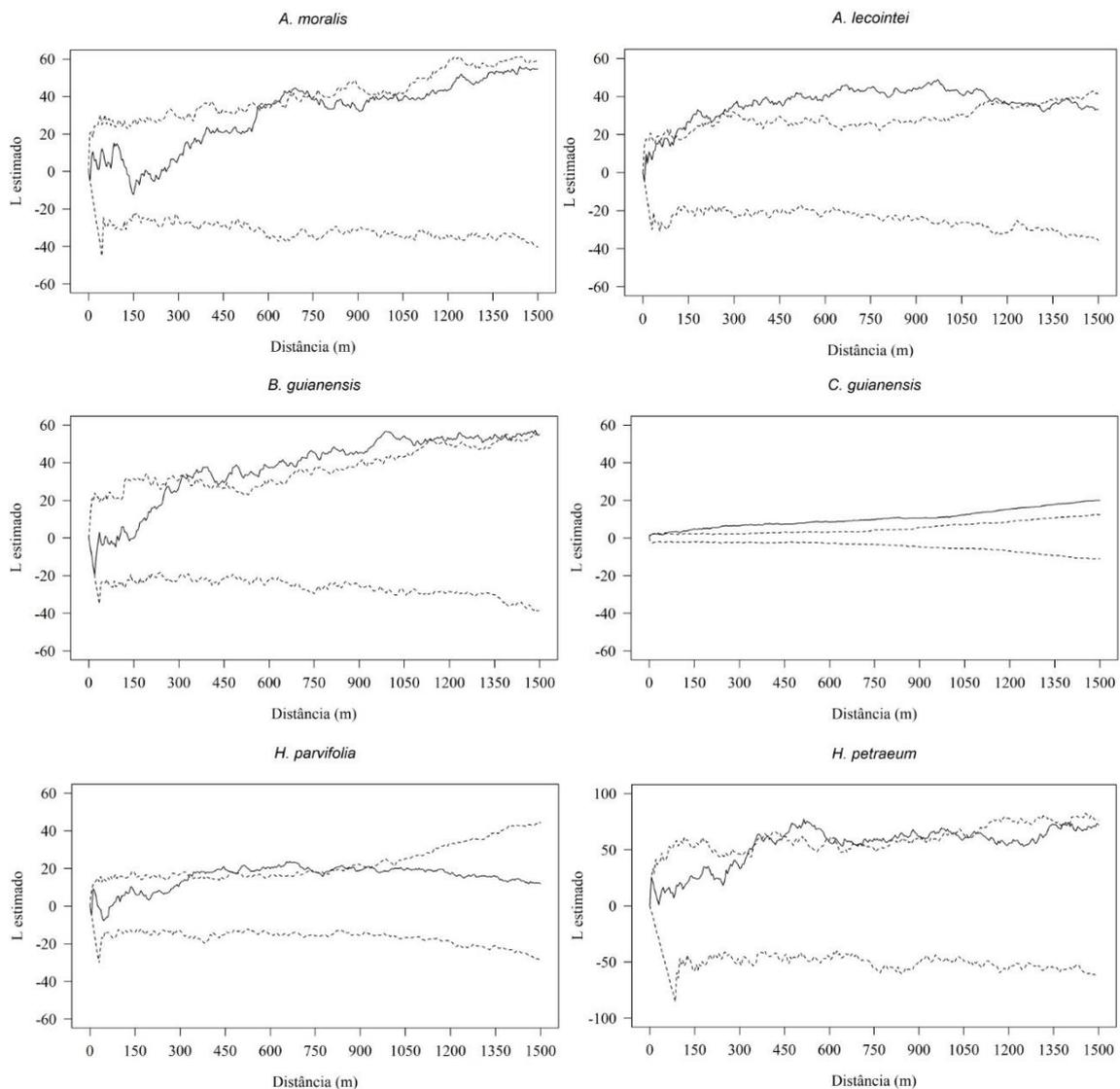


Figura 4 continua...

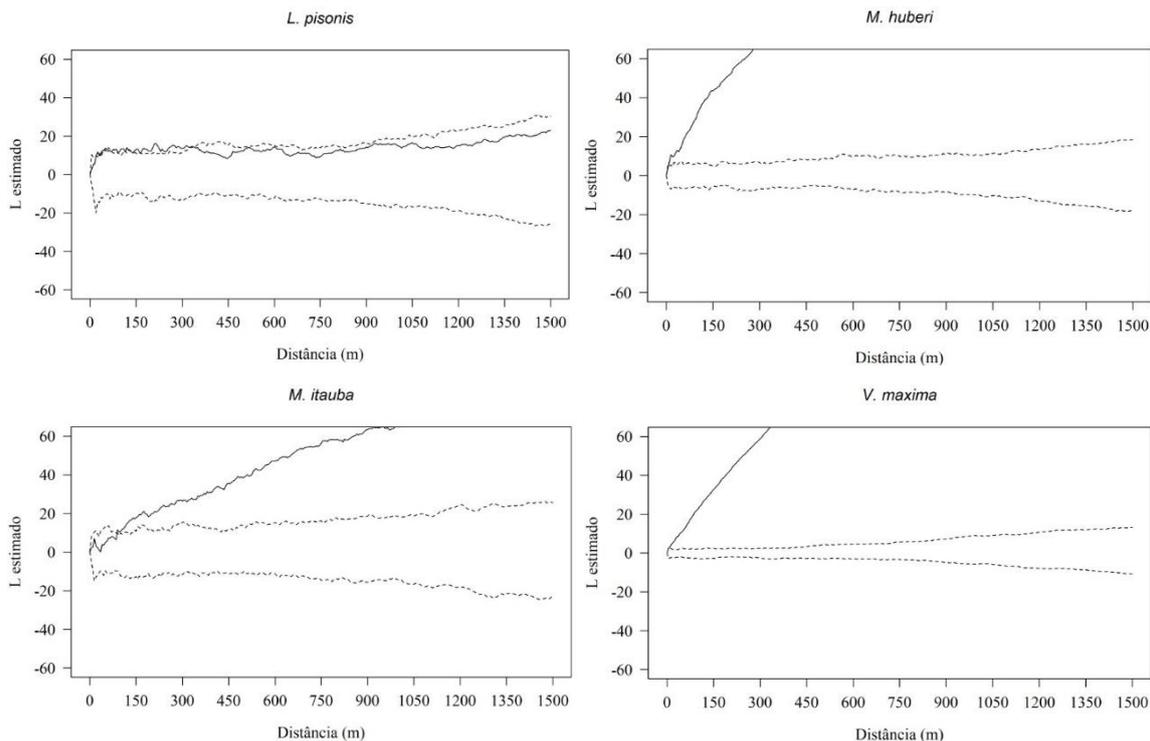


Figura 4. Padrão espacial obtido com a função K univariada para espécies comerciais da Floresta nacional do Tapajós, Belterra, Pará. A linha contínua é a função K de Ripley univariada e as linhas pontilhadas são os intervalos de confiança das simulações da CAE com 99,8 % de probabilidade.

Conhecer o padrão espacial pode ser o primeiro passo para investigar as variáveis que determinam a configuração espacial e que contribuíram para a distribuição natural das espécies (DALMASO *et al.*, 2012).

Para a maioria dos grupos de árvores comerciais estudados o padrão espacial variou. Essa variação pode ter ocorrido em função de gradientes ambientais e relações inter e intraespecíficas. Essa variedade de padrões por um mesmo grupo de árvores, indica que seu estabelecimento pode acontecer em diferentes ambientes e geralmente populações apresentam essa combinação de padrões (DIXON, 2002). Para o manejo florestal um grupo de árvores comerciais com essas variações no padrão espacial (entre aleatório e agregado) são uma vantagem, pois indicam menor especialização no seu estabelecimento. Para grupos com essa característica a intensidade de perturbações pode ser determinante para a sua colonização, tornando-se necessário o acompanhamento nesses diferentes ambientes.

Apesar das variações, em florestas tropicais o padrão regular é raro (ARMESTO; MITCHELL; VILLAGRAN, 1986), resultado constatado na FNT. Nenhum grupo estudado apresentou esse padrão espacial. A distribuição regular é percebida quando a competição entre árvores é severa ou quando há repulsão espacial, promovendo o espaçamento por uma distância

mínima constante entre as árvores (ODUM; BARRETT, 2008), fatores que não foram constatados entre os grupos de árvores estudadas na FNT.

Um dos fatores para a variação de padrões é a grande heterogeneidade e complexa dispersão, em particular das espécies e grupo de árvores com valor comercial estudadas, por características adaptativas ao ambiente onde se encontram e sobrevivência. Como por exemplo os grupos que possuem como agente dispersor alguns animais, esse fator pode influenciar diretamente essas variações como é o caso do grupo de árvores de *H. parvifolia*, que seu mecanismo de dispersão é zoocórico (MUNIZ, 2008). Outro fator é a incidência de luz no ambiente. Dessa forma, é evidente que o ambiente influencia na distribuição espacial das espécies e dos grupos, apesar das suas características ecológicas. Para o correto planejamento das atividades florestais é necessário um embasamento que leve em consideração todas essas variáveis e não apenas uma característica.

A maioria dos grupos de árvores de interesse que variaram em seu padrão espacial possuíram nos primeiros metros de distância estudados um padrão espacial aleatório. Esse resultado pode estar associado ao fato de que as árvores devem obter uma distância razoável da planta mãe, para germinar e sobreviver, evitando ao máximo a competição intraespecífica (JANZEN, 1970).

Em florestas tropicais o padrão agregado é mais comum (HUBBELL, 1979). Isso em função da capacidade limitada de dispersão de sementes, da disponibilidade de habitats e de condições microclimáticas favoráveis (CAPRETZ, 2004). O padrão agregado em um valor igual ou superior a 50% da distância analisada, foi encontrado para os grupos de árvores comerciais das espécies *A. lecointei*, *B. guianensis*, *C. guianensis*, *M. huberi*, *M. itauba* e *V. maxima*. Esse padrão espacial pode indicar que o grupo de árvores comerciais apresentam dispersão limitada em relação à fonte de propágulos, ou que são exigentes em condições microambientais específicas (BRUZINGA *et al.*, 2013). Variáveis que podem dificultar o sucesso de seu estabelecimento na área da FNT.

A maioria dos grupos de árvores comerciais com padrão agregado em no mínimo 50% da área de estudo possuem uma dispersão zoocórica, demonstrando sua possível limitação na dispersão de sementes. *A. lecointei* é dispersa de forma anemocórica, *B. guianensis* é de forma zoocórica (AMARAL *et al.*, 2009), *C. guianensis*, *M. huberi* e *M. itauba* são dispersos de maneira zoocórica, já *V. máxima* é anemocórica, mas quando os frutos estão verdes são atacados por pássaros (SILVA, S., 2006).

O grupo de árvores com o padrão agregado apresenta um registro de volume colhido superior aos demais grupos analisados, possivelmente pela facilidade de deslocamento em

campo, já que uma árvore vai estar próxima a outra. Isso evidencia a importância econômica das espécies para a região e a intensidade com que são exploradas. Fatores que fortalecem a necessidade de estudos específicos para subsidiar o manejo florestal desse grupo de árvores, visando ciclos de cortes futuros e a sua conservação.

3.3 K de Ripley bivariado

Padrões espaciais específicos encontrados em florestas são guiados por dependência espacial de variáveis florestais como a densidade (CONDÉ *et al.*, 2016). As interações interespecíficas são normalmente citadas como responsáveis por agrupamentos em determinadas espécies (PERRY; DIXON, 2002). Dessa forma, os grupos de árvores comerciais que possuíram padrão espacial agregado em no mínimo 50% da distância de análise (*A. lecointei*, *B. guianensis*, *C. guianensis*, *M. huberi*, *M. itauba*, *V. maxima*) obtiveram as associações espaciais analisadas em relação as demais espécies estudadas. As associações interespecíficas dos grupos de árvores comerciais são apresentadas na Figura 5.

O grupo de árvores comerciais de *A. lecointei* teve associação positiva com as árvores de interesse de *L. pisonis*, *V. maxima* e *C. guianensis*. Com as árvores de interesse de *L. pisonis* variou entre uma associação positiva e independência espacial. Obteve atração entre 560 a 565 m, 570 a 575 m, 1.120 a 1.135 m, 1.250 a 1.275 m, 1.365 a 1.385 m, 1.390 a 1.400 m e entre 1.405 a 1.410 m, nas demais distâncias obteve independência espacial. Com as árvores de interesse de *V. maxima* ocorreu associação positiva entre 185 a 190 m, 200 a 415 m, 460 a 470 m, 475 a 480 m, 580 a 590 m, 640 a 665 m, 675 a 685 m, 690 a 695 m, 735 a 760 m, 765 a 780 m, 800 a 845 m e entre 870 a 880 m, nas demais distâncias obteve independência espacial. Com as árvores de interesse de *C. guianensis* a associação foi positiva apenas nos primeiros 5 metros e se estabeleceu com independência espacial depois desse valor.

O grupo de árvores comerciais de *B. guianensis* teve associação positiva com as árvores de interesse de *C. guianensis* entre 1.280 a 1.285 m e entre 1.300 a 1.490 m, nas demais distâncias obteve independência espacial.

O grupo de árvores comerciais de *C. guianensis* obteve atração com as árvores de interesse de *H. petraeum* entre 40 a 45 m, 110 a 125 m e entre 145 a 155 m, nas demais distâncias obteve independência espacial. Com as árvores de interesse de *A. lecointei* possuiu atração apenas nos primeiros 5 m estudados, após essa distância se manteve com independência espacial.

O grupo de árvores comerciais de *M. huberi* obteve associações positivas com as árvores de interesse de *M. itauba* e *V. maxima*. A associação com as árvores de interesse de *M.*

itauba ocorreu entre 160 a 165 m, 200 a 205 m, 640 a 825 m e entre 830 a 1.500 m, nas demais distâncias obteve independência espacial. Com as árvores de interesse de *V. maxima* a atração ocorreu entre 0 a 5 m, 25 a 30 m, 35 a 90 m, 95 a 785 m, 790 a 795 m e entre 800 a 995 m, nas demais distâncias obteve independência espacial.

O grupo de árvores comerciais de *M. itauba* obteve associação positiva com as árvores de interesse de *V. maxima* nos primeiros 5 m de distância, a partir dessa distância se estabeleceu com independência espacial. Com as árvores de interesse de *B. guianensis* obteve repulsão entre 1.080 a 1.105 m, 1.165 a 1.175 m, 1.195 a 1.200 m, 1.205 a 1.210 m, 1.215 a 1.290 m, 1.315 a 1.330 m, 1.355 a 1.360 m, 1.370 a 1.375 m e entre 1.395 a 1.400 m, nas demais distâncias obteve independência espacial.

O grupo de árvores comerciais de *V. maxima* variou entre associação positiva e independência espacial as árvores de interesse de com *A. lecointei*, entre 110 a 115 m, 135 a 150 m, 160 a 165 m, 170 a 185 m, 265 a 270 m, 460 a 465 m, 475 a 480 m, 510 a 515 m, 655 a 660 m e entre 710 a 715 m houve atração entre as espécies, nas demais distâncias obteve independência espacial. Com as árvores de interesse de *M. huberi* obteve atração entre 0 a 5 m, passou a ter independência espacial e a partir de 25 m até o limite máximo de estudo de 1.500 m, possuiu associação positiva. Com as árvores de interesse de *M. itauba* obteve associação positiva apenas nos primeiros 5 m, depois se estabeleceu em independência espacial.

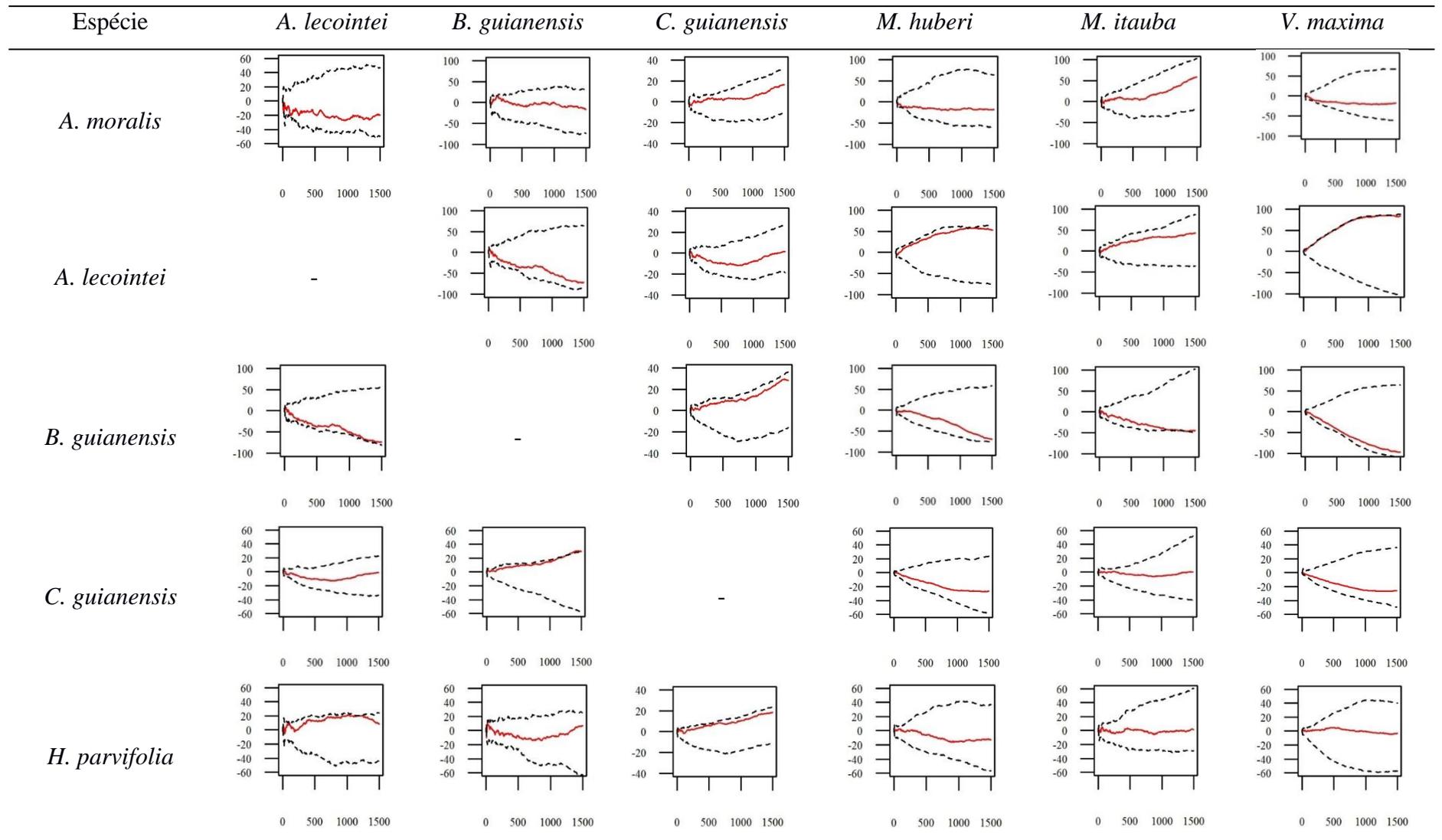


Figura 5 continua...

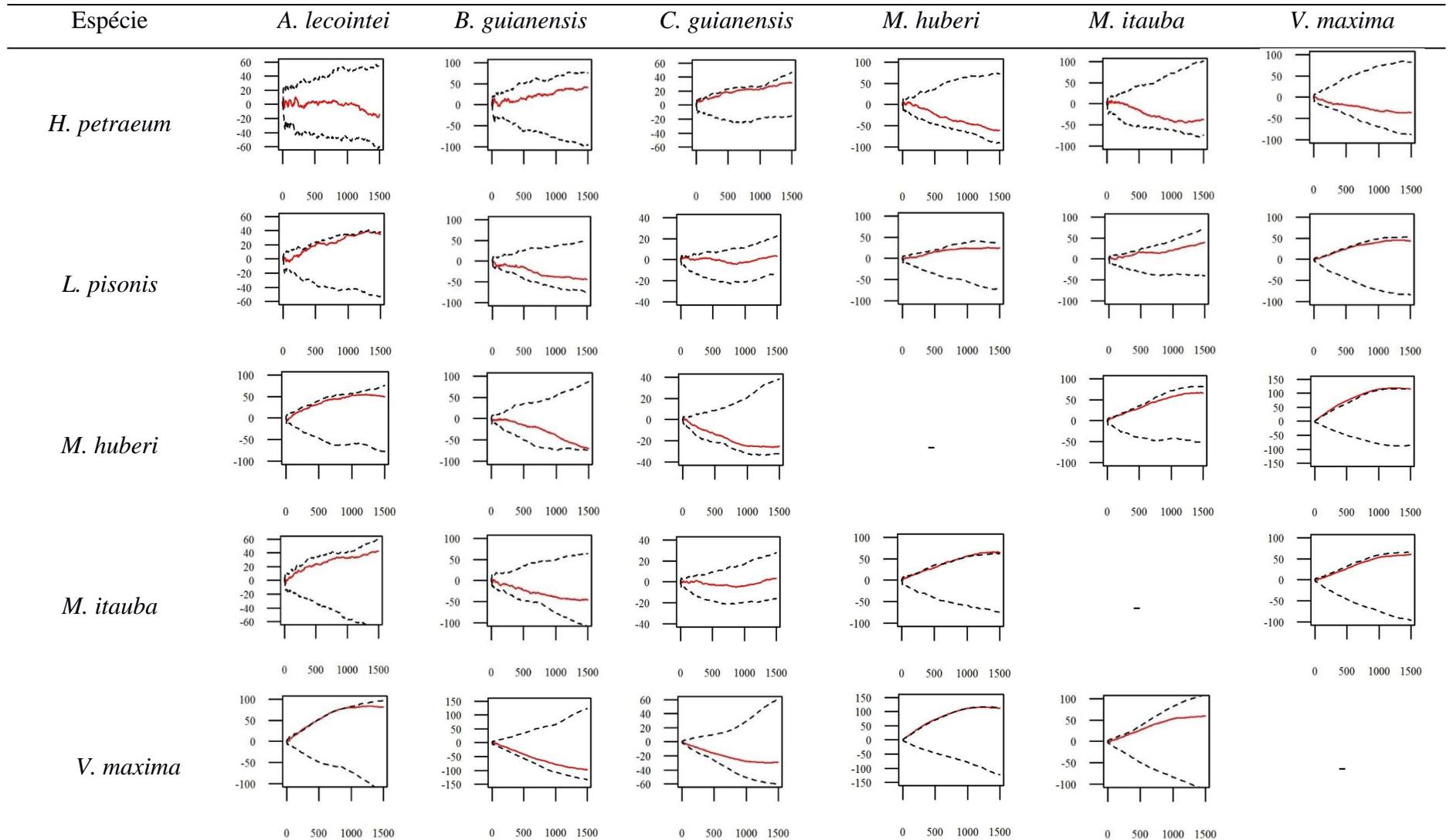


Figura 5. Associação espacial obtida com a função K bivariada para espécies comerciais da Floresta nacional do Tapajós, Belterra, Pará. A linha contínua é a função K de Ripley bivariada e as linhas pontilhadas são os intervalos de confiança das simulações da CIE com 98,9 % de probabilidade.

De maneira geral, as associações encontradas foram em sua maioria com as o grupo de árvores comerciais que possuíram um padrão agregado em um valor de distância superior a 50% com a função univariada. Das 12 associações positivas e 1 negativa, apenas 2 (positivas) foram com grupo de árvores comerciais de padrão predominantemente aleatório. Sendo as associações entre as árvores de interesse de *A. lecointei* com *L. pisonis* e *C. guianensis* com *H. petraeum*.

Possivelmente a maioria das associações ocorreram entre os grupos de árvores com padrão predominantemente agregado, pelas características ambientais preferenciais ocupadas por esses grupos, como por exemplo os mesmos dispersores para os diferentes grupos de espécies estudados.

Das 54 associações possíveis, 41 foram de independência espacial. A maioria dos grupos de árvores analisadas estão presentes em toda a área de estudo, ou seja, não há espaço para estabelecimento de grupos de árvores comerciais que competem, por exemplo, pelos mesmos níveis de nutrientes e intensidade luz.

A maioria das associações que ocorreram foi de atração, indicando que não há competição entre as árvores. Resultado positivo, já que se trata de grupos de árvores de alto interesse econômico e fortemente exploradas na região. Mas a falta de competição pode estar relacionada com a abundância de recursos, um alerta para a conservação do ecossistema atual. Como os recursos são abundantes, a competição interespecífica não ocorre ou ocorre em baixas taxas (PIANKA, 1994). Outra explicação seria de que duas espécies ou grupo de árvores só coabitam o mesmo espaço quando o nicho de uma não é totalmente compartilhado com o nicho da outra, não competindo pelos mesmos recursos (MACARTHUR; LEVINS, 1967; ABRAMS, 1983).

Já para a associação negativa entre as árvores de interesse de *M. itauba* com *B. guianensis*, a repulsão pode ser explicada pela competição pelo mesmo nicho ecológico. Grupos de árvores comerciais que utilizam os mesmos recursos não podem coexistir numa mesma área, sendo que o grupo que utiliza o recurso de forma mais eficiente exclui o outro. Ou a hipótese mais provável de que os grupos apenas possuem exigências ecológicas diferentes. As árvores de interesse de *M. itauba* são classificadas como tolerante a sombra, já as árvores de interesse de *B. guianensis* são pioneiras (OLIVEIRA, 2005), dessa forma, são grupos com necessidades distintas.

Independente do fator limitante é nítido que o grupo de árvores comerciais de *B. guianensis* não ocorre de forma densa nas mesmas áreas que as árvores de interesse de *M. itauba*

estão presentes (Figura 3). Essa relação de repulsão pode ser um dos motivos para a baixa densidade de árvores comerciais da espécie na área de estudo.

4 CONCLUSÕES

O padrão espacial dos grupos de árvores comerciais variou entre aleatório e agregado, nenhum grupo apresentou padrão regular. As árvores de interesse de *A. lecointei*, *B. guianensis*, *C. guianensis*, *M. huberi*, *M. itauba* e *V. maxima*, obtiveram padrão agregado.

A maioria das associações interespecíficas foi de independência espacial. De forma geral, não ocorre competição entre os grupos de árvores comerciais analisadas.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMS, P. The theory of limiting similarity. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 14, p.359-376, 1983.
- ALVES, J. C. Z. O.; MIRANDA, I. S. Análise da estrutura de comunidades arbóreas de uma floresta amazônica de Terra Firme aplicada ao manejo florestal. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 4, p. 657- 666, 2008.
- AMARAL, D.D.; VIEIRA, I.C.G.; ALMEIDA, S.S.; SALOMÃO, R.P.; SILVA, A.S.L.; JARDIM, M.A.G. Checklist da flora arbórea de remanescentes florestais da região metropolitana de Belém e valor histórico dos fragmentos, Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, v. 4, n. 3, p. 231-289, 2009.
- ANJOS, A.; COUTO, H.T.Z.; BATISTA, J.L.F.; REIS, A. Análise do efeito de um manejo em regime de rendimento sustentável sobre o padrão de distribuição espacial do palmiteiro (*Euterpe edulis* Martius), utilizando a função K de Ripley. **Revista Árvore**, v. 22, n. 2, p. 215-225, 1998.
- ANJOS, A.; MAZZA, M. C. M.; SANTOS, A. C. M. C.; DELFINI, L. T. Análise do padrão de distribuição espacial da Araucária (*Araucaria angustifolia*) em algumas áreas do Paraná, utilizando a função K de Ripley. **Scientia Forestalis**, n.66, p.36-45, 2004.
- ASSOCIAÇÃO COMERCIAL, INDUSTRIAL E DE SERVIÇOS DE NOVO HAMBURGO, CAMPO BOM E ESTÂNCIA VELHA. **Cotação Dólar**. Disponível em: <<http://www.acinh.com.br/servicos/cotacao-dolar>>. Acesso em: 9 abr. 2018.
- ARMESTO, J.J.; MITCHELL, J.D.; VILLAGRAN, C. A comparison of spatial patterns of trees in some tropical and temperate forests. **Biotropica**, v.18, n.1, p.1-11. 1986.
- BAROT, S.; GIGNOUX, J.; MENAUT, J. Demography of savanna palm tree: predictions from comprehensive spatial pattern analyses. **Ecology**, v. 80, n. 6, p. 1987-2005, 1999.
- BRASIL. Decreto nº 73.684, de 19 de fevereiro de 1974. Cria a Floresta Nacional do Tapajós, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 20 fev. 1974. Seção 1, p. 1987.
- BRASIL. Instrução Normativa 05, de 11 de dezembro de 2006. Dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Planos de Manejo Florestal Sustentável-PMFS nas florestas primitivas e suas formas de sucessão na Amazônia Legal, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 dez. 2006. Seção 1, p. 155.
- BRUZINGA, J.S.; OLIVEIRA, M.L.R.; MACHADO, E.L.M.; LEITE, H.G.; PEREIRA, I.M.; NOGUEIRA, G.S. Distribuição espacial de indivíduos adultos de Pequi. **Scientia Forestalis**, v.42, n.98, p. 249-256, 2013.
- CAPRETZ, R.L. **Análise dos padrões espaciais de árvores em quatro formações florestais do estado de São Paulo, através de análise de segunda ordem, como a função K de Ripley**. 2004. 79 f. Dissertação (Mestre em ecologia de agrossistemas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, São Paulo, 2004.

CONDÉ, T.M.; TONINI, H.; SILVA, F.; BARNI, P.E.; CELES, C.H.S.; ARAUJO, R.F.; CAMPOS, M.A.A.; MIRANDA, D.L.C. Padrão espacial de espécies madeireiras da Amazônia pelo método de coordenadas cartesianas e espaciais. **Pesquisa florestal brasileira**, v. 36, n. 86, p. 115-125, 2016.

CONDÉ, T.M.; TONINI, H. Fitossociologia de uma Floresta Ombrófila Densa na Amazônia Setentrional, Roraima, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 3, p. 247-260, 2013.

COOMES, D.A.; REES, M.; TURNBULL, L. Identifying aggregation and association in fully mapped spatial data. **Ecology**, v. 80, n. 2, p. 554-565, 1999.

CYSNEIROS, V.C; DALMASO, C.A.; PELISSARI, A.L. Spatial patterns and interactions of dominant tree species in an Amazon tropical rainforest. **Revista de Biologia Tropical**, v. 66, n.3, p. 1009-1017, 2018.

DAJOZ, R. **Ecologia geral**. São Paulo: Vozes, 1972. 472 p.

DALMASO, C.A.; INOUE, M.T.; FILHO, P.C.O.; MARCELINO, V.R.; POTTKER, G.S. Análise dos padrões espaciais de *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer na floresta nacional de Irati, PR em ambiente SIG. **Ambiência**, v. 8, número especial, p. 559-570, 2012.

DIGGLE, P. **Spatial analysis of spatial point patterns**. 1 ed. London: Academic Press. 1983. 272p.

DIXON, P. M. Ripley's K function. In: ABDEL H. **Encyclopedia of Environmetrics**. Chichester: El-Shaarawi / John Wiley & Sons, 2002. v. 3, p. 1796-1803.

ESPÍRITO-SANTO, F.D.B. **Caracterização e mapeamento da vegetação da região da floresta nacional do tapajós através de dados óticos, radar e inventários florestais**. 2003. 277 f. Dissertação (Mestre em Sensoriamento Remoto) – Institutos Nacionais de Estudos Espaciais, São José dos Campos, São Paulo, 2003.

GARCIA, J.S.; LUZ, A.S.; GAMA, J.R.V. **Práticas de manejo florestal comunitário**. Santarém: Universidade Federal do Oeste do Pará, 2015. 44p.

HIGUCHI, P.; SILVA, A.C.; BERG, E.V.D.; PIFANO, D.S. Associações espaciais entre indivíduos de diferentes espécies de *Miconia spp.* Ruiz & pav. (melastomataceae). **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 381-389, 2011.

HUBBELL, S.P. Tree Dispersion, Abundance, and Diversity in a Tropical Dry Forest. **Science**, v. 203, n. 4387, p. 1299-1309, 1979.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Projeto zoneamento das potencialidades dos recursos naturais da Amazônia Legal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. 212 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. **Floresta Nacional do Tapajós – Plano de Manejo**. Brasília: IBAMA, 2004. 580 p.

JANZEN, D.H. Herbivores and the number of tree species in tropical forests. **American Naturalist**, v. 104, n. 940, p. 501-528, 1970.

KUULUVAINEN, T.; ROUVINEN, S. Post-fire understorey regeneration in boreal *Pinus sylvestris* forest sites with different fire histories. **Journal of Vegetation Science**, v. 11, n. 11, p. 801-812, 2000.

LEDO, A.; CONDÉS, S.; MONTES, F. Revisión de índices de distribución espacial usados en inventários forestales y su aplicación en bosques tropicales. **Revista Peruana de Biología**, v.19, n.1, p. 113-124, 2012.

MACARTHUR, R.H.; LEVINS, R. The limiting similarity, convergence and divergence of coexisting species. **American Naturalist**, v.101, n. 921, p.377-385, 1967.

MACHADO, S.A.; SANTOS, A.A.P.; ZAMIN, N.T.; NASCIMENTO, R.G.M. Distribuição espacial de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana. **Ciência Rural**, v. 42, n. 6, p. 1013 - 1019, 2012.

MUNIZ, H.F. Padrões de floração e frutificação de árvores da Amazônia Maranhense. **Acta amazonica**, v. 38, n. 4, p. 617 – 626, 2008.

NASCIMENTO, N.A.; CARVALHO, J.O.P.; LEÃO, N.V.M. Distribuição espacial de espécies arbóreas relacionada ao manejo de florestas naturais. **Revista Ciências Agrárias**, n. 37, p. 175-194, 2002.

ODUM, E.P; BARRETT, G.W. Fundamentos da Ecologia. São Paulo: Cengage Learning, 2008. 612p.

OLIVEIRA, L.C. **Efeito da exploração de madeira e de diferentes intensidades de desbaste sobre a dinâmica da vegetação de uma área de 136ha na Floresta Nacional do Tapajós**. 2005. 183 f. Tese (Doutor em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, São Paulo, 2005.

PANNUTI, M.I.R. **Aspectos da distribuição espacial, associação com hábitat e herbivoria dependente da densidade de *Calophyllum brasiliense* Camb. (Clusiaceae) em restiga alta da ilha do Cardoso, Cananéia, SP, Brasil**. 2009. 147 f. Dissertação (Mestrado em Ciências, na área de Ecologia de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

PEREIRA, A.A.; BARROS, D.A.; JUNIOR, F.W.A.; PEREIRA, J.A.A.; REIS, A.A. Análise da distribuição espacial de áreas queimadas através da função K de Ripley. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 100, p. 445-455, 2013.

PERRY, J.N.; DIXON, P.M. A new method to measure spatial association forecological count data. **Ecoscience**, v. 9, n. 2, p. 133-141, 2002.

PIANKA, E.R. **Evolutionary ecology**. New York: Harper Collins College Publishers, 1994. 486p.

R Core team (2017). **R: A Language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: < <https://cran.r-project.org/>>. Acesso em 20 abr. 2017.

RIPLEY, B.D. Modelling spatial patterns. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 39, n. 2, p. 172-212, 1977.

RIPLEY, B.D. **Spatial statistics**. New York: WileyIEEE, 1981. 252 p.

RIPLEY, B.D. Tests off randomness for spatial patterns. **Journal of the Royal Statistic Society**, v. 41, n. 3, p. 368-374, 1979.

ROWLINGSON, B.; DIGGLE, P. Splancs: spatial point pattern analysis code in s-plus. **Computers and Geosciences**, v. 19, n. 5, p. 627-655, 1993.

SILVA, A.R. **Composição, estrutura horizontal e espacial de 16 ha de floresta densa de terra-firme no estado do Amazonas**. 2015. 65 f. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais e Ambientais) – Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2015.

SILVA, K.E.; MARTINS, S.B.; SANTOS, N.T.; RIBEIRO, C.A.A.S. Padrões espaciais de espécies arbóreas tropicais. In: MARTINS, S.V.M. **Ecologia de Florestas Tropicais do Brasil**. Viçosa: Editora UFV, 2012. p. 216-244.

SILVA, S. **Árvores da Amazônia: Brasil**. São Paulo: Empresa das Artes, 2006. 243p.

WIEGAND, T.; MOLONEY, K.A. Rings, circles, and null-models for point pattern analysis in ecology. **Oikos**, v. 104, n. 2, p. 209 - 229, 2004.

CAPÍTULO 2

PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM TRADICIONAIS PARA GRUPO DE ÁRVORES COMERCIAIS COM PADRÃO ESPACIAL AGREGADO E COM BAIXA DENSIDADE NA AMAZÔNIA

RESUMO

O objetivo do trabalho foi determinar a precisão e exatidão para os procedimentos de amostragem tradicionais usados na Amazônia para um conjunto de grupos de árvores comerciais com padrão espacial agregado e com baixa densidade. O estudo foi realizado em uma área total de 2.000 ha, na Floresta Nacional do Tapajós (FNT), município de Belterra, estado do Pará. Os dados foram obtidos por censo florestal, onde foi mensurado a circunferência a 1,30 m do solo (*CAP*) das árvores que possuíam *CAP* igual ou superior a 158 cm, qualidade do fuste, as coordenadas cartesianas das árvores e a altura comercial (*Hc*). Realizou-se 1.000 simulações para cada combinação entre processo de amostragem, tamanho de unidade e intensidade amostral. Os procedimentos de amostragem testados foram a amostragem casual simples (ACS) e a amostragem sistemática (AS). Para cada procedimento de amostragem foram testados os mesmos tamanhos de unidades amostrais e os mesmos valores de intensidade amostral até que o erro menor ou igual a 10% com 95% de probabilidade fosse atingido para a variável densidade. A largura das unidades de amostra foi fixada em 50 m e o comprimento das unidades de amostra foi de 50 a 400 m, variando em 50 em 50 m. Testou-se posteriormente o procedimento de amostragem, tamanho da unidade de amostra e a intensidade amostral mais adequados, para o volume e a área basal. Em relação a precisão a AS foi o procedimento que requereu menor esforço amostral para atingir o erro desejável. Já em relação a exatidão a ACS demonstrou captar de forma mais eficiente o padrão espacial agregado dos grupos de árvores comerciais e sua baixa densidade. Considerando que a variável de interesse em inventários florestais é a exatidão, a ACS é o procedimento mais indicado para a amostragem dos grupos de árvores estudados. A ACS amostrou na área de forma mais exata os grupos de árvores comerciais com padrão espacial com uma maior variação entre agregado e aleatório e que possuem uma baixa densidade mais acentuada. Considerando a variável densidade, a unidade e intensidade amostral mais eficientes para a ACS foi de 50 x 300 m com 9% de intensidade. Para a ACS obter estimativas com precisão para as variáveis densidade, área basal e volume a intensidade amostral deveria ser ampliada.

Palavras-chave: Amostragem casual simples. Amostragem sistemática. Amazônia

CHAPTER 2
TRADITIONAL SAMPLING PROCEDURES FOR A GROUP OF COMMERCIAL
TREES WITH AGGREGATED AND LOW DENSITY SPACE PATTERN IN THE
AMAZON

ABSTRACT

The objective of this work was to determine the precision and accuracy for the traditional sampling procedures used in the Amazon for a group of commercial tree groups with aggregate and low density spatial patterns. The study was carried out in a total area of 2,000 ha in the Tapajós National Forest (FNT), in the municipality of Belterra, state of Pará. Data were obtained by forest census, where the circumference was measured at 1.30 m from the soil (CAP) of the trees with a CAP equal to or greater than 158 cm, stem quality, Cartesian coordinates of trees and commercial height (Hc). A total of 1,000 simulations were performed for each combination of sampling, unit size and sample intensity. The sampling procedures tested were simple random sampling (ACS) and systematic sampling (AS). For each sampling procedure, the same sample unit sizes and the same sampling intensity values were tested until the error of less than or equal to 10% with 95% probability was reached for the density variable. The width of the sample units was set at 50 m and the length of the sample units was 50 to 400 m, varying by 50 in 50 m. The most appropriate sampling procedure, sample unit size and sample intensity were then tested for volume and basal area. Regarding the accuracy, the AS was the procedure that required less sample effort to achieve the desired error. Regarding accuracy, ACS has shown a more efficient capture of the aggregate spatial pattern of commercial tree groups and their low density. Considering that the variable of interest in forest inventories is accuracy, ACS is the most appropriate procedure for sampling the groups of trees studied. The ACS has more accurately sampled in the area the groups of commercial trees with spatial pattern with a greater variation between aggregate and random and that have a lower density more accentuated. Considering the variable density, the most efficient unit and sample intensity for ACS was 50 x 300 m with 9% intensity. For ACS to obtain accurate estimates for the variables density, basal area and volume the sample intensity should be increased.

Keywords: Simple casual sampling. Systematic sampling. Amazon.

1 INTRODUÇÃO

O manejo de florestas naturais e sua conservação demandam conhecimentos sobre sua estrutura e estoque presente e futuro (UBIALLI *et al.*, 2009). Para tanto, é necessário a execução de inventários florestais, para a obtenção de informações sobre quantidades e qualidades dos recursos (CAMPOS; LEITE, 2017) e de muitas características das áreas sobre as quais as árvores estão crescendo.

Na região Amazônica, é praticamente impossível fazer uma completa enumeração das árvores de uma população florestal, por limitações financeiras, no tempo e logística do processo (HIGUCHI; SANTOS; JARDIM, 1982). Por sua vez, os procedimentos de amostragem podem fornecer todas as informações necessárias em menos tempo e com menor custo do que um censo florestal (HUSCH; BEERS; KERSHAW JR, 2003).

Além disso, a Norma de Execução nº 01 de 2007 do IBAMA (BRASIL, 2007), estabelece a obrigatoriedade de inventários florestais por amostragem em planos de manejo na região. A mesma norma estabelece que o inventário deva apresentar média para densidade, área basal e volume das espécies comerciais, a partir de um diâmetro comercial, com precisão mínima de 10% a 95% de probabilidade.

Entretanto, o problema de qualquer processo de amostragem é a obtenção de estimativas fidedignas, tomando como base somente parte dessa população (THOMPSON; SEBER, 1996). Com isso, a definição do procedimento de amostragem, tamanho da unidade amostral e da intensidade amostral, tornam-se fatores determinantes para o sucesso do inventário florestal, levando em consideração a precisão e exatidão em um mesmo procedimento.

Uma das características que subsidiam uma correta tomada de decisão sobre o planejamento de inventários florestais é o padrão espacial. Tendo em vista que uma população florestal, pode apresentar uma distribuição no espaço irregular, nas suas diferentes classes de tamanho de diâmetro (SILVA *et al.*, 2012), o planejamento das atividades florestais deve levar em consideração essas informações.

Em florestas tropicais o padrão espacial agregado é o mais comum (LEGENDRE; FORTIN, 1989) e ocorre predominância de espécies com baixa densidade. Nesses casos, há uma série de restrições condicionadas pelo padrão espacial que devem ser levadas em consideração, mas que na maioria das vezes não são colocadas em prática. Em tal situação, se for adotado um processo de amostragem convencional para seleção de unidades de amostra na condução de um inventário florestal, provavelmente a amostra não será representativa para este

tipo de população. Portanto, as estimativas do número de árvores desse grupo de árvores serão tendenciosas (SMITH; VILLELLA; LIMARIÉ, 2003).

O procedimento de amostragem, tamanho da unidade amostral e intensidade amostral, devem ser escolhidos com o intuito de captar de forma representativa a heterogeneidade da área, levando em consideração também as características particulares dos grupos de árvores de interesse. Visando um bom planejamento e realização das atividades florestais, principalmente aquelas voltadas ao manejo florestal com fins madeireiros.

Além do plano de manejo florestal, a maioria dos inventários realizados na Amazônia visam, principalmente, à estimativa de volume para avaliar a viabilidade técnica e econômica de áreas públicas e privadas (OLIVEIRA *et al.*, 2014). Dessa forma, estimativas mais próximas do real são essenciais, principalmente para o grupo de árvores com características de interesse comercial. Nesse sentido, o aspecto econômico é um dos fatores mais influenciados pela exatidão ou inexatidão do procedimento de amostragem adotado.

Apesar das restrições associadas ao uso de procedimentos tradicionais de inventário para populações com padrão espacial agregado, esses processos de amostragem são os mais usados. Principalmente pelo tamanho da amostra ser estabelecido com antecedência, o que garante a confiança ao planejamento da pesquisa e principalmente em seu orçamento.

Dessa forma, os objetivos do trabalho foram determinar a precisão e exatidão para os procedimentos de amostragem tradicionais usados na Amazônia para um grupo de árvores comerciais com padrão espacial agregado e baixa densidade. E determinar o tamanho de unidade amostral e intensidade amostral mais indicada para cada procedimento

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na Floresta Nacional do Tapajós (FNT), município de Belterra, estado do Pará. Os dados foram obtidos nas unidades de produção anual (UPAs) 08 e 09, com área total de 2.000 ha. A área é destinada para o manejo florestal da Cooperativa Mista Flona do Tapajós (COOMFLONA), que fica localizada no km 83 da BR 163.

A FNT é uma unidade de conservação federal de uso sustentável, sua área é de cobertura florestal predominantemente de espécies nativas. Possui uma área de 544.927 hectares, entre as coordenadas geográficas 2°45' e 4°10' "S" e 54°45' e 55°30' "W" (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2004). O objetivo básico da FNT é o uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e a pesquisa científica, com ênfase em métodos para exploração sustentável de suas florestas (INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE, 2018). Possibilita ações de manejo florestal em sua extensão, onde desde 2006 as populações residentes na unidade, fazem a gestão dos recursos madeireiros.

O regime de temperaturas é elevado com precipitações distribuídas ao longo do ano. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Ami, ou seja, tropical úmido, a precipitação acumulada anual é de 1.983 mm/ano e temperatura média anual de 25,5°C. A topografia da região varia de plana a ondulada, o solo é caracterizado como Latossolo Amarelo Distrófico e a vegetação é caracterizada como Floresta Ombrófila Densa (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2004).

2.2 Coleta de dados

A coleta de dados foi realizada por censo florestal na área de manejo das UPAs 08 e 09, totalizando uma área total de estudo de 2.000 ha na FNT. O censo considerou espécies comercializadas pela COOMFLONA e somente suas respectivas árvores aptas ao comércio. Os critérios usados na FNT para essa classificação englobam a legislação vigente, tendo como base a IN 05/2006 (BRASIL, 2006) e parâmetros estabelecidos pela cooperativa, que visam uma maior qualidade da madeira a ser manejada.

Dessa forma, foi mensurado a circunferência a 1,30 metros do solo (*CAP*) das árvores que possuíam *CAP* igual ou superior a 158 cm e qualidade do fuste considerada como reto ou pouco tortuoso. Árvores que possuíam observações relacionadas com fatores que

pudessem influenciar o máximo aproveitamento na colheita, como possuir fuste bifurcado ou cônico, não obtiveram o diâmetro mensurado, como também as árvores com fuste tortuoso não foram consideradas no inventário.

Além do *CAP*, coletou-se as coordenadas cartesianas das árvores e a altura comercial (*H_c*). No censo as UPAs foram divididas em UTs de 100 ha cada (1.000 x 1.000 m), nas quais foram abertas picadas paralelas na direção norte-sul, distantes 50 m entre si. Para registro das coordenadas das árvores em relação aos dois eixos da área, colocou-se em cada picada balizas a cada 25 m, com a respectiva metragem em relação à origem e para cada árvore verificou-se o número da picada e da distância de cada árvore em relação a picada. Ao final de cada picada, movia-se para a picada seguinte e executava a mesma rotina de trabalho, e assim sucessivamente até completar a última picada de cada UT (GARCIA; LUZ; GAMA, 2015).

2.3 Grupo de árvores mensuradas

O grupo das árvores comerciais mensuradas no censo florestal foi formado pelas espécies: *Astronium lecointei* Ducke, *Bagassa guianensis* Aubl., *Couratari guianensis* Aubl., *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier, *Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez e *Vochysia maxima* Ducke. Essas espécies apresentam uma alta frequência de exploração pela cooperativa e possuem grande representatividade econômica na área. O grupo de árvores comerciais dessas espécies foi selecionado para o estudo por apresentarem padrão espacial agregado e baixa densidade, conforme detalhado no primeiro capítulo.

2.4 Análise de dados

Os procedimentos de amostragem testados para o grupo de árvores comerciais com padrão espacial agregado e que possuem baixa densidade, foram a amostragem casual simples (ACS) e a amostragem sistemática (AS). O método de amostragem selecionado foi o de área fixa. Para cada procedimento foram testados os mesmos tamanhos de unidades amostrais e os mesmos valores de intensidade amostral até que o erro menor ou igual a 10% com 95% de probabilidade fosse atingido (BRASIL, 2007).

Os tamanhos das unidades amostrais testadas foram iguais ou superiores a 2.500 m², levando em consideração estudos já realizados na região (SILVA, 1980; CAVALCANTI; MACHADO; HOSOKAWA, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2014). A largura das unidades de amostra foi fixada em 50 metros, por ser a mesma largura utilizada para o censo florestal. O comprimento das unidades de amostra foi de 50 a 400 m, variando em 50 em 50 m, perfazendo uma área de 0,25 a 2,00 ha (CAVALCANTI; MACHADO; HOSOKAWA, 2009). Para a AS

a primeira unidade amostral foi selecionada aleatoriamente, as demais unidades foram simuladas de forma esquematizada em duas dimensões, utilizando intervalos de amostra tanto para o eixo x como para o eixo y da área de estudo, com o intuito de abranger toda a área (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1993).

Na prática florestal, calcula-se a área de abrangência de cada parcela, de acordo com a intensidade amostral determinada. O intervalo de amostragem é calculado por (SÉ, 2012):

$$IA = \sqrt{\frac{\text{Área total (m}^2\text{)}}{n}} \quad (4)$$

em que: *IA* é o intervalo de amostragem e *n* é o número de unidades amostrais mensuradas.

A intensidade amostral nos dois procedimentos foi testada a partir de 1% da área de estudo e ampliada a cada 1% até que o limite mínimo desejado de erro de 10% para a variável densidade (número de árvores por hectare) fosse atingido, com 95% de probabilidade (BRASIL, 2007). A densidade foi utilizada como a variável indicadora para o erro amostral por ser baseada em contagem de árvores, igualmente ao método para determinar o padrão espacial utilizado (função K de Ripley). O intuito do trabalho foi escolher o procedimento de amostragem mais adequado utilizando como base o padrão espacial do grupo de árvores de interesse. A partir disso, a variável densidade como indicadora do erro amostral tem maior relação com o padrão espacial. Com o uso da área basal e volume, também como variáveis indicadoras para o erro amostral, outras variáveis iriam fazer parte da análise das estimativas como *DAP* e altura, e talvez assim não fosse possível saber realmente se a amostragem foi eficiente ou não levando em consideração o padrão espacial.

A intensidade máxima testada para se adquirir o erro desejável foi mantida para os dois procedimentos. Realizou-se 1.000 simulações para cada combinação entre processo de amostragem, tamanho de unidade e intensidade amostral, cada simulação foi realizada sem reposição de unidades amostrais. Por meio das simulações foram obtidas as estimativas médias.

Para alguns tamanhos de unidades amostrais o conjunto total de unidades não encaixou perfeitamente na área de estudo, com algumas parcelas possuindo um tamanho diferente do proposto. Para padronizar o tamanho de parcela para esses casos e estimar o seu número de árvores cabíveis, utilizou-se o estimador de razão. A utilização da estimativa por razão é recomendada quando existir uma relação linear entre as variáveis e quando a reta de regressão passar pela origem do sistema de eixos coordenados (SHIVER; BORDERS, 1996):

$$\hat{R} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n a_i} \quad (5)$$

em que: \hat{R} é o estimado de razão; y_i é o número de árvores em cada unidade amostral e a_i é a área amostrada em cada unidade amostral.

Para a ACS e AS, em cada uma das simulações combinando processo de amostragem, tamanho da unidade amostral e intensidade amostral, foram calculadas as estimativas da média do número de árvores por hectare (\bar{Y}) e o erro padrão da média ($S_{\bar{Y}}$). Para a ACS as estimativas foram calculadas por (LOETSCH; HALLER, 1964):

$$S_{\bar{Y}} = \sqrt{\frac{S^2}{n_i} \left(1 - \frac{n_i}{N}\right)} \quad (6)$$

$$S^2 = \frac{\sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n}}{(n_i - 1)} \quad (7)$$

em que: n é o número de unidades amostrais mensuradas; N é o número de unidades amostrais cabíveis na população e S^2 é o estimador da variância amostral.

Para a AS o erro padrão da média ($S_{\bar{Y}}$) foi calculado pelo método das diferenças sucessivas, por existir um gradiente de variação entre as unidades amostrais da área e o seu número de árvores (LOETSCH; HALLER, 1964):

$$S_{\bar{Y}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{i+1})^2}{2.n(n-1)} \cdot \left[\frac{N-n}{N}\right]} \quad (8)$$

Para todas as simulações realizadas foram calculadas o erro de amostragem (E%) com t de 95% de probabilidade e a exatidão (Exa.%):

$$E\% = \frac{S_{\bar{Y}} \cdot t}{\bar{Y}} \times 100 \quad (9)$$

$$Exa. \% = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\hat{T} - T}{\hat{T}} \times 100}{r} \quad (10)$$

em que: \hat{T} é o total estimado; T é o total observado e r é o número de simulações (1.000).

Os dois procedimentos de amostragem foram comparados utilizando a precisão e exatidão. Foram ajustados modelos de regressão com a ACS como método-padrão em comparação a AS (FARIAS *et al.*, 2002; BRUZINGA *et al.*, 2014). Utilizou-se para a análise as 1.000 simulações nas intensidades que adquiriram o erro desejável em cada tamanho de unidade amostral testado. As comparações foram realizadas com o teste F de Graybill com 95% de probabilidade (GRAYBILL, 1976):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (11)$$

em que: Y é a variável em AS; β_0 e β_1 são parâmetros do modelo; X é a variável do procedimento padrão (ACS) e ε é o erro aleatório.

A similaridade entre as variáveis, considerando os procedimentos de amostragem, foi verificada ao testar a hipótese simultânea:

$$H_0 = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

H_a : complemento de H_0

Para testar essa hipótese aplicou-se a estatística F, conforme proposto por Graybill (1976):

$$F(H_0) = \frac{(\hat{\beta} - \theta)'(X'X)^{-1}(\hat{\beta} - \theta)}{2 * QM Res} \quad (13)$$

em que: $\hat{\beta} = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \end{bmatrix}$ é o vetor de coeficientes da equação de regressão; $\theta = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$; $(X'X)^{-1} = \begin{bmatrix} n & \sum x \\ \sum x & \sum x^2 \end{bmatrix}$; $QM Res$ = Quadrado médio do resíduo; e $F_{tab} = [5\%; 2, n-2 \text{ gl}]$.

Após definir o procedimento de amostragem, tamanho da unidade de amostra e a intensidade amostral mais adequados para os grupos de árvores comerciais com padrão espacial agregado e baixa densidade, utilizando apenas a variável densidade, testou-se posteriormente a amostragem para o volume e a área basal. O volume foi calculado com a equação genérica

utilizada pela cooperativa para cada UPA, descritas nos seus respectivos Planos Operacionais Anuais (POA).

O processamento e análise dos dados foram realizados no software R Core Team (2017) 3.4.2, por meio da plataforma RStudio.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Grupo de árvores mensuradas

Na área de 2.000 ha foram mensuradas no censo florestal 6.701 árvores comerciais, com padrão espacial agregado determinado pela função K de Ripley univariado e que possuem baixa densidade. A baixa densidade encontrada para esses grupos de árvores comerciais foi influenciado pelos critérios estabelecidos para uma árvore ser considerada de interesse comercial na FNT. Esses critérios afunilam o número de árvores classificadas como aptas ao comércio.

Dentre os grupos de árvores com padrão espacial agregado e com baixa densidade, os valores de *DAP* mínimo e médio variaram pouco entre si. Já os valores de *DAP* máximo e o número de árvores encontradas na área de 2.000 ha obtiveram uma variação maior entre os grupos (Tabela 4).

Tabela 4. Valores mínimos (mín.), máximos (máx.), médios (méd.), desvio padrão do *DAP* (cm) e o número de árvores absoluto para cada grupo de árvores comerciais estudada na Floresta nacional do Tapajós, Belterra, Pará.

Nome científico	Nome vulgar	<i>DAP</i> (cm)				nº de árvores
		mín.	máx.	méd.	desvio padrão	
<i>Astronium lecointei</i>	muiracatiara	50,29	219,63	74,82	21,46	258
<i>Bagassa guianensis</i>	tatajuba	50,93	136,87	73,33	20,70	230
<i>Couratari guianensis</i>	Tauari	50,29	237,14	74,46	21,25	2.398
<i>Manilkara huberi</i>	maçaranduba	50,29	184,62	74,41	21,22	900
<i>Mezilaurus itauba</i>	Itaúba	50,29	340,00	75,49	21,39	490
<i>Vochysia maxima</i>	quaruba	50,29	573,91	75,14	21,32	2.425
	Média	50,40	282,03	74,61	21,22	-
	Total	-	-	-	-	6.701

A distribuição diamétrica do número total de árvores para cada grupo apresenta tendências diferentes entre si. Dentre os grupos, as árvores de interesse de *C. guianensis* e *V. maxima* possuem uma distribuição diamétrica com uma concentração maior de árvores nas classes de menor valor. Os demais grupos possuem uma distribuição mais regular entre as classes (Figura 6).

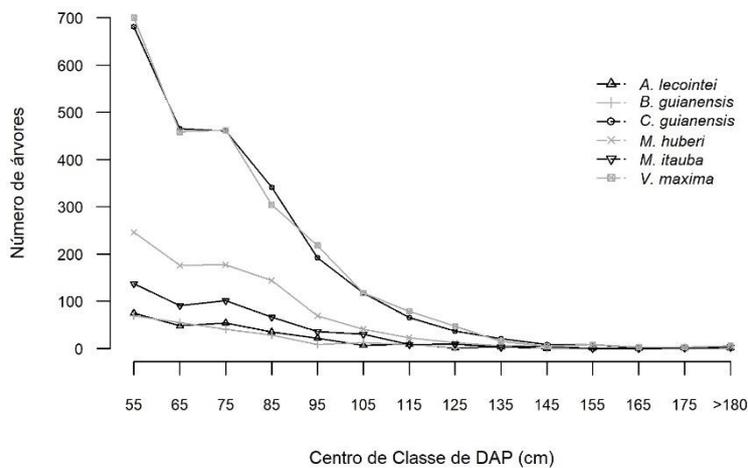


Figura 6. Distribuição diamétrica dos grupos de árvores comerciais estudadas na Floresta nacional do Tapajós, Belterra, Pará.

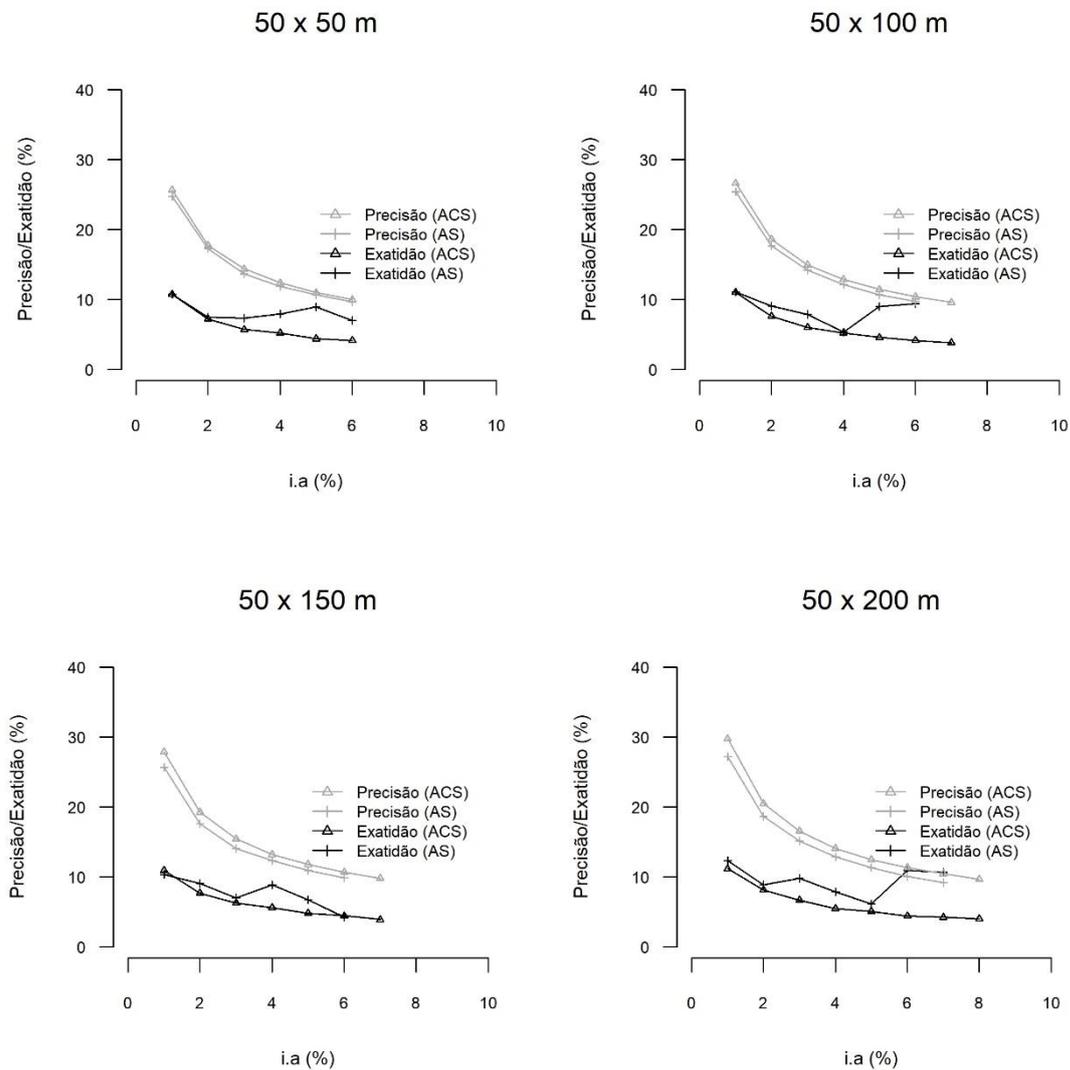
3.2 Estimador de Razão

Para a realização das simulações dos procedimentos de amostragem foi utilizado o estimador de razão, para padronizar o tamanho das unidades amostrais e estimar o número de árvores cabíveis em cada uma das unidades ampliadas. Essa metodologia foi utilizada para os tamanhos de unidades amostrais de 50 x 150 m, 50 x 300 m, 50 x 350 m e de 50 x 400 m. Para esses tamanhos de unidades amostrais o “grid” de parcelas não encaixou perfeitamente na área de estudo de 2.000 ha, necessitando ampliar a área e estimar o número de árvores cabíveis na área ampliada. Para a unidade amostral de 50 x 150 m ampliou-se o tamanho da área e número de árvores para 2.010 ha e 6.741 árvores, para a unidade amostral de 50 x 300 m ampliou-se para 2.040 ha e 6.821 árvores, para a unidade amostral de 50 x 350 m ampliou-se para 2.030 ha e 6.801 árvores e para a unidade amostral de 50 x 400 m ampliou-se o tamanho da área e número de árvores para 2.040 ha e 6.821 árvores.

Utilizou-se essa metodologia por existir uma relação linear desde a origem entre o número de árvores e a área amostrada, com β_0 igual a 0,0070 e *p.valor* de 0,9975. A divisão da área para as dimensões de parcelas estudadas de 50 x 50 m, 50 x 100 m, 50 x 150 m, 50 x 200 m, 50 x 250 m, 50 x 300 m, 50 x 350 m e 50 x 400 m, resultou em 8.000, 4.000, 2.680, 2.000, 1.600, 1.360, 1.160 e 1.020 unidades amostrais, respectivamente.

3.3 Precisão e exatidão

A média das estimativas obtidas entre as 1.000 simulações realizadas com os procedimentos de amostragem, em diferentes tamanhos de unidades amostrais e nas diferentes intensidades amostrais para a variável densidade são apresentadas no Apêndice A. Nas estimativas de ACS e a AS, houve uma relação inversamente proporcional entre precisão e a intensidade amostral. Em todos os tamanhos de unidades amostrais com o aumento da intensidade amostral se adquiria melhor precisão. Em relação a exatidão essa tendência também ocorreu com a ACS. Já com a AS houve variações na exatidão a medida que se aumentou a intensidade amostral (Figura 7).



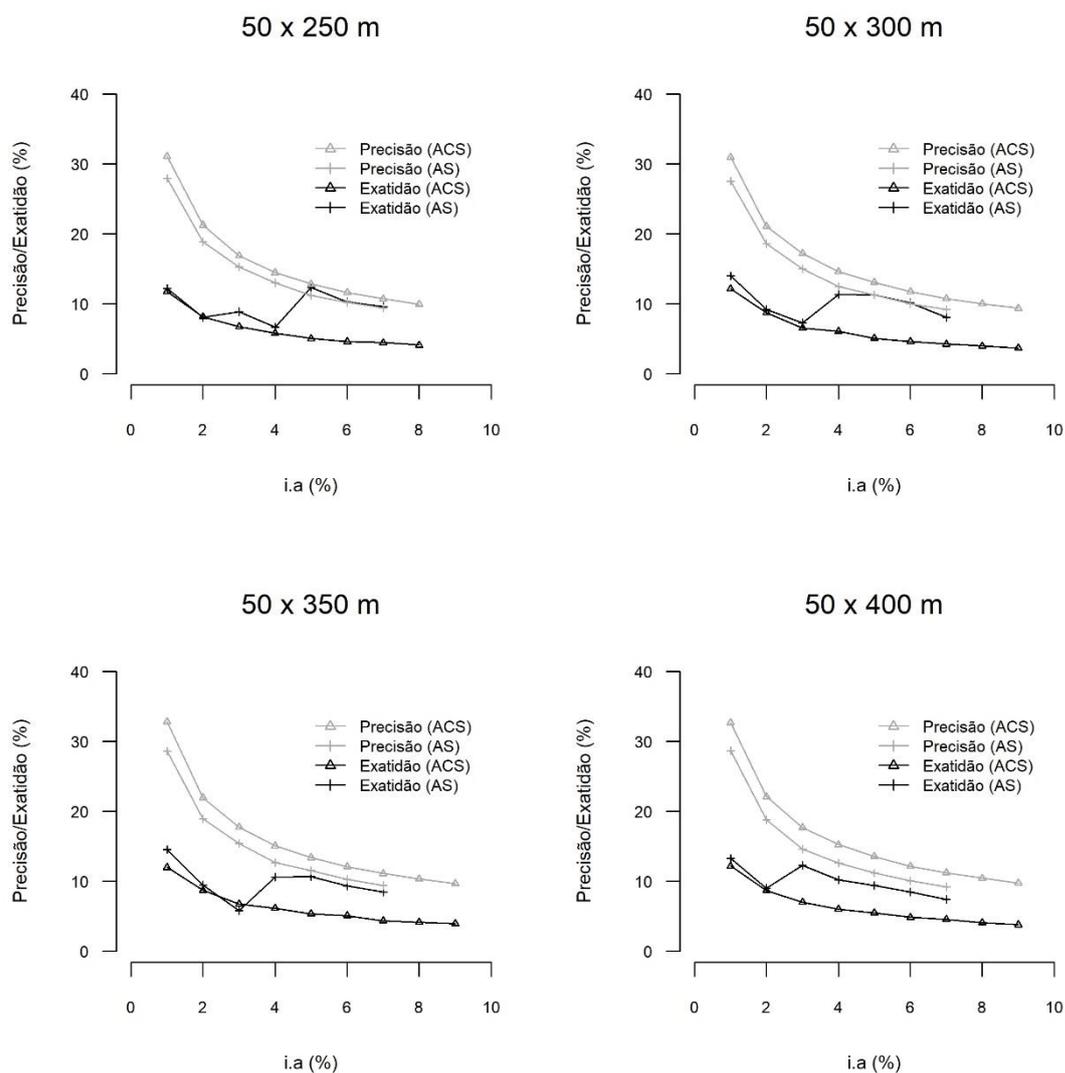


Figura 7. Precisão e exatidão média das 1.000 simulações com ACS e AS, para os diferentes tamanhos de unidades amostrais e intensidades amostrais (i.a) testados. A intensidade amostral foi aumentando a cada 1% da área até a obtenção do erro igual ou inferior a 10% para a densidade.

Tendo em vista que precisão se refere a um padrão de estimação, ao aumentar a intensidade para cada tamanho de parcela, a amostra se tornava mais representativa nos dois procedimentos de amostragem usados. No sentido de captar menor variação entre o número de árvores amostradas nas diferentes unidades amostrais, como evidencia o erro padrão da média (Apêndice A). A tendência de melhorar a precisão à medida que se aumenta a intensidade amostral, já era esperada, já que o erro padrão da média é inversamente proporcional ao tamanho amostral.

Para a AS houve um menor esforço amostral para adquirir o erro desejado em cada tamanho de unidade amostral testado, e comparando uma mesma intensidade entre os tamanhos

de parcelas a AS também foi mais precisa. Nestes casos, a AS é mais precisa porque o seu sistema de seleção com uma distribuição uniforme, cobrindo toda população, consegue abranger desde os menores até os maiores valores da variável de interesse, dessa forma, o erro padrão da média da AS é menor do que aquele estimado pela ACS, como é constatado no Apêndice A (HUSCH; BEERS; KERSHAW JR, 2003).

Apenas na parcela de 50 x 50 m o erro mínimo exigido pela legislação vigente foi atingido na mesma intensidade de 6% para os dois procedimentos. Em relação a todos os tamanhos de parcelas testados, 6% de intensidade foi o menor valor para se adquirir a precisão desejada. Levando em consideração o tamanho total da área de estudo, uma intensidade amostral de 6% é um valor considerado muito alto, ou seja, para se adquirir a precisão desejada seria necessário amostrar no mínimo 120 ha, considerando apenas a precisão.

Em estudos realizados na Amazônia para espécies comerciais com $DAP \geq 40$ cm e utilizando unidades amostrais de 50 x 400 m. A intensidade amostral para adquirir o erro desejável para a variável densidade com a ACS foi de 116,78 ha (CAVALCANTI; MACHADO; HOSOKAWA, 2009). Já com AS a intensidade amostral necessária para atingir o erro mínimo foi de 118,00 ha (CAVALCANTI *et al.*, 2011). Esses estudos também contemplaram entre outros, os grupos de árvores comerciais de *A. lecointei*, *M. huberi* e *M. itauba*. Para esse tamanho de parcela no presente estudo a intensidade amostral necessária foi superior nos dois procedimentos, com a ACS seria necessário amostrar 183,60 ha e com a AS seria necessário 142,80 ha. Isso confirma que considerando grupos de árvores comerciais com um *DAP* mais específico é necessário um grande esforço amostral utilizando os procedimentos de amostragem tradicionais.

Para que um inventário atinja os seus objetivos por meio de uma amostragem confiável, é preciso levar em consideração a precisão e a exatidão. Com a AS a precisão é obtida com menor esforço amostral, levando em consideração o fator econômico e tempo, poderia ser uma vantagem em relação a ACS, devido ao fato de que o deslocamento entre as unidades amostrais é menor já que o caminhamento entre as parcelas é preestabelecido anteriormente. Na maioria das vezes em inventários florestais a precisão é a característica de parâmetro em relação a exatidão, ou seja, busca-se a precisão na expectativa de na mesma proporção adquirir exatidão. Tendência que não foi encontrada para os grupos de árvores comerciais estudados com a AS, que mesmo adquirindo precisão, a exatidão foi pior quando comparada a ACS, devido a grande variação entre as simulações realizadas.

Mesmo amostrando menos em área do que a ACS para adquirir o erro de no mínimo 10% para a densidade nos tamanhos de unidades amostrais testados. A AS obteve resultados

inferiores em relação a exatidão. Em cada procedimento de amostragem com a intensidade que adquiriu o erro desejável, os valores de exatidão com a AS variam mais entre as simulações realizadas, influenciando negativamente na variável (Figura 8). Como a característica objeto dos inventários florestais é a exatidão, a AS não seria indicada para estimar a densidade dos grupos de árvores comerciais com padrão espacial agregado e com baixa densidade.

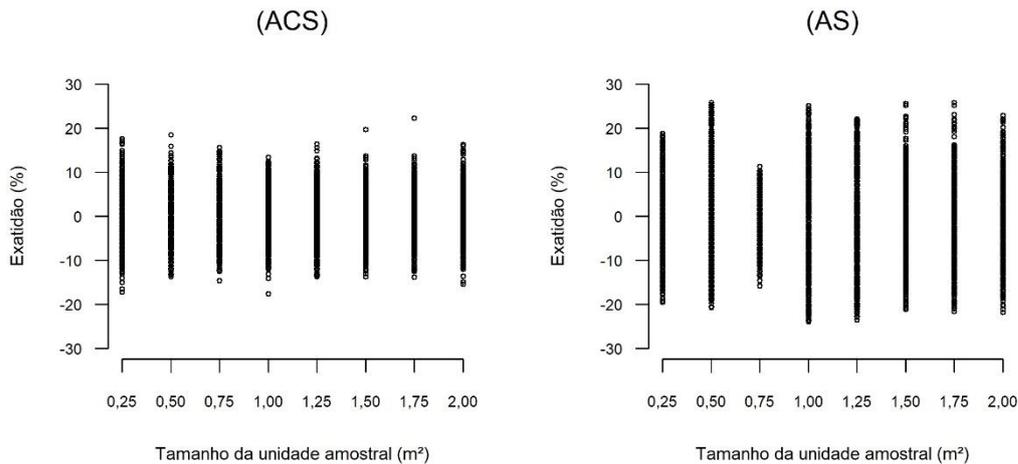


Figura 8. Valores de exatidão (%) das 1.000 simulações realizadas nos diferentes tamanhos de unidades amostrais testados na intensidade amostral que adquiriu o erro de no mínimo 10% para a densidade.

Para a ACS em cada tamanho de unidade de amostra, quanto mais preciso foi a amostragem mais exata ela também se tornava. Essa tendência também foi encontrada em um estudo realizado com uma espécie de padrão espacial agregado e rara, com o uso da ACS constatou-se que quanto maior o tamanho da amostra, mais exatas são as estimativas do número de árvores (SOARES *et al.*, 2009). Em outro estudo realizado com uma espécie agregada essa tendência também foi encontrada para esse procedimento (BRUZINGA, 2012).

De forma geral para esse procedimento, dentre os tamanhos de unidades de amostras testados em uma mesma intensidade, quanto menor o tamanho da unidade amostral mais exato o procedimento, havendo algumas variações. Com a ACS e com o uso de parcelas menores e em intensidades amostrais maiores, obteve-se resultados com estimativas mais fidedignas ao censo florestal. Isso pode ter ocorrido pela amostragem captar mais parcelas com ausência de árvores, as denominadas “Parcelas zero” nas menores unidades amostrais e pelo fato de em cada tamanho de parcela à medida que aumentava a intensidade amostral também aumentava o número de parcelas com ausência de árvores (Tabela 5).

Dessa forma, levando em consideração que os grupos de árvores comerciais estudados possuem baixa densidade, amostrar mais parcelas com ausência de árvores tornava a amostragem mais exata, ou seja, o procedimento conseguiu captar as particularidades dos grupos de árvores comerciais, evitando assim, a superestimativa ou a subestimativa da densidade. A ACS obteve uma boa exatidão em todos os tamanhos de unidades amostrais nas intensidades que adquiriram o erro de no mínimo 10% para a densidade. Entre as 1.000 simulações realizadas com a intensidade que adquiriu o erro desejado, as unidades amostrais de 50 x 50 m, 50 x 150 m, 50 x 250 m, 50 x 300 m, 50 x 350 m e 50 x 400 m superestimaram a densidade. Já para as unidades de 50 x 100 m e 50 x 200 m subestimaram a densidade. Nessas unidades amostrais houve a amostragem de menor número de árvores por parcela, influenciando assim na subestimação.

Tabela 5. Média entre as 1.000 simulações para o número de parcelas com zero árvores amostradas, em cada processo de amostragem, e em cada tamanho de unidade amostral (u.a) e intensidade amostral (i.a) testado.

u.a (m)	Processo de amostragem	Média de parcelas com ausência de árvores								
		i.a								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
50x50	ACS	35,83	71,62	107,41	143,19	178,93	214,67	-	-	-
	AS	36,10	71,37	107,25	142,52	179,53	215,15	-	-	-
50x100	ACS	8,54	17,45	25,98	34,77	43,36	52,54	61,00	-	-
	AS	8,65	17,60	26,32	34,78	43,36	52,02	-	-	-
50x150	ACS	2,77	5,80	8,50	11,09	14,01	16,94	19,55	-	-
	AS	2,84	5,72	8,47	11,19	13,94	16,81	-	-	-
50x200	ACS	1,31	2,75	4,27	5,43	6,93	8,22	9,64	10,88	-
	AS	1,37	2,73	4,20	5,56	6,82	8,38	9,41	-	-
50x250	ACS	0,76	1,48	2,17	3,03	3,62	4,50	5,19	5,88	-
	AS	0,81	1,43	2,24	3,01	3,68	4,48	5,18	-	-
50x300	ACS	0,24	0,46	0,65	0,87	1,09	1,30	1,58	1,72	1,97
	AS	0,22	0,49	0,68	0,88	1,15	1,34	1,55	-	-
50x350	ACS	0,11	0,25	0,30	0,38	0,47	0,59	0,74	0,79	0,90
	AS	0,11	0,23	0,30	0,40	0,52	0,62	0,64	-	-
50x400	ACS	0,05	0,10	0,12	0,17	0,19	0,22	0,29	0,34	0,36
	AS	0,05	0,07	0,12	0,15	0,18	0,26	0,25	-	-

Para a AS em cada tamanho de unidade de amostra não houve uma tendência de tornar a amostragem mais exata na mesma medida que se tornava mais precisa, como foi constatado com a ACS. E de forma geral, entre os tamanhos de unidade de amostras em uma mesma intensidade também ocorreu variações na exatidão com maior discrepância das encontradas na ACS. As variações para a exatidão ocorreram mesmo com a AS obtendo um número de parcelas com ausência de árvores equivalente ao encontrado na ACS (Tabela 4). Entre as 1.000 simulações realizadas com a intensidade que adquiriu o erro desejado, as unidades amostrais de 50 x 150 m, 50 x 200 m, 50 x 300 m, 50 x 350 m e 50 x 400 m superestimaram a densidade. Já para as unidades de 50 x 50 m, 50 x 100 m e 50 x 250 m subestimaram a densidade. A AS apresentou valores de exatidão piores que a ACS.

Para esse processo de amostragem tradicional (AS) é difícil a captura de forma representativa do padrão espacial agregado dos grupos de árvores de interesse. Pela forma de dispor as unidades amostrais na área, muitas vezes, as parcelas amostram no mesmo procedimento de forma sistemática muitos aglomerados ou até mesmo nenhum deles, potencializando a inexatidão das estimativas e gerando resultados que não condizem com a realidade, mesmo adquirindo a precisão desejada. Esse fato pode ter influenciado nas variações da exatidão média entre as intensidades amostrais e entre os tamanhos de unidades amostrais testados para a AS.

3.4 Tamanho da unidade de amostra

Apesar das unidades amostrais de menor tamanho demonstrarem serem mais eficientes em precisão e exatidão, principalmente com a ACS. Unidades amostrais de pequenas dimensões oneram os custos do inventário em virtude do aumento da quantidade dessas parcelas para cobrir a mesma área em comparação a unidades maiores, devido a abertura de picadas e os deslocamentos de pessoal representarem acréscimos nos custos dos levantamentos florestais.

Em relação ao tamanho das unidades amostrais, a partir da parcela de 50 x 200 m nos dois procedimentos o coeficiente de variação tendeu a se estabilizar (Figura 9), indicando que parcelas a partir desse tamanho são mais indicadas. Cavalcanti, Machado e Hosokawa (2009) também chegaram a conclusão para espécies comerciais com $DAP \geq 40$ cm, que parcelas com áreas superiores a 0,75 ha são mais eficientes. Em um estudo realizado na Amazônia, Oliveira *et al.* (2014) constataram que para árvores com $DAP \geq 45$ cm, parcelas a partir de 1 ha são mais indicadas.

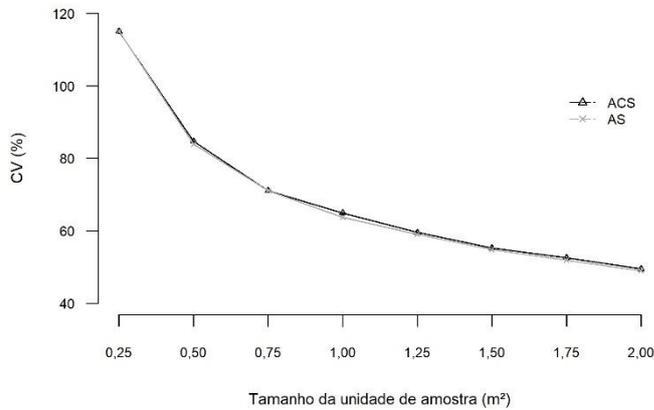


Figura 9. Coeficiente de variação médio entre as 1.000 simulações realizadas para os diferentes tamanhos de unidades amostrais na intensidade que adquiriu o erro desejável para a variável densidade utilizando a ACS e a AS.

Dessa forma, para a AS a parcela mais eficiente foi a de 50 x 200 m, a partir dela houve uma estabilização na intensidade amostral de 7% da área em relação as demais dimensões testadas para adquirir o erro desejado. Já na ACS houve estabilização em 9% de intensidade amostral a partir da parcela de 50 x 300 m para adquirir o erro desejado.

Em relação a precisão desejada entre as unidades amostrais mais eficientes para cada procedimento, utilizando a AS seria necessário menor esforço amostral em comparação a ACS, levando em consideração intensidade e dimensão da unidade amostral. Com o uso da AS não seria amostrado 44,50 ha a mais que seriam necessários caso o procedimento adotado fosse a ACS. Apesar disso, em relação a exatidão, com a ACS obteve-se melhores resultados. A exatidão para as unidades amostrais mais eficientes para os procedimentos foi de em média 3,72% e 10,72%, para ACS e AS, respectivamente. Como o objetivo central do inventário é a busca da exatidão o indicado seria utilizar a unidade e intensidade amostral mais eficientes com a ACS.

3.5 Grupos de árvores comerciais amostrados

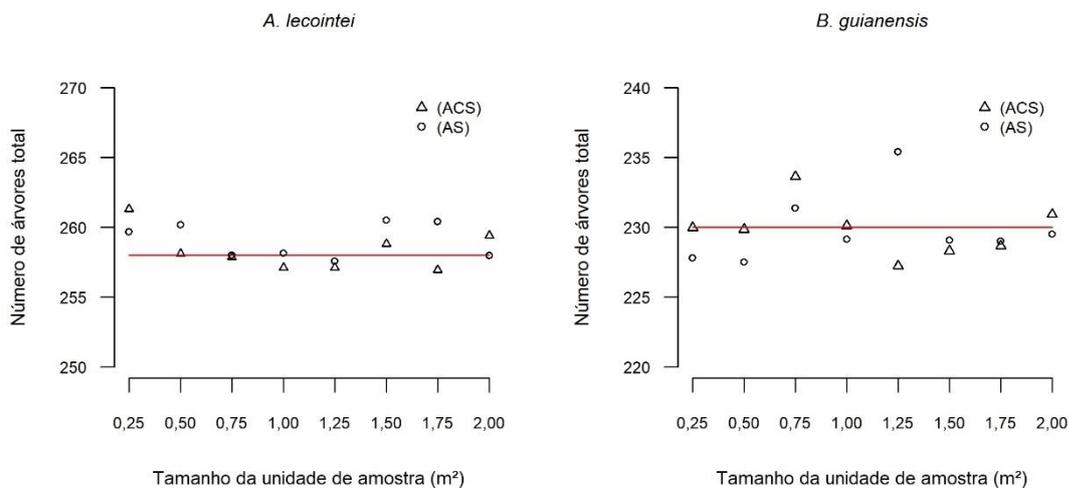
Entre os tamanhos de unidades amostrais testados, na intensidade que adquiriu o erro desejável de no mínimo 10% para a densidade, a ACS e a AS amostraram todos os grupos de árvores comerciais com padrão espacial agregado e com baixa densidade estudados.

Para todos os grupos entre as unidades amostrais testadas houve tendência de superestimar o número de árvores total, exceto para o grupo de árvores de *B. guianensis*, em que os procedimentos obtiveram uma leve tendência a subestimar.

Em média para os tamanhos de unidades amostrais a ACS foi mais eficiente que a AS para estimar o número de árvores total de cada grupo. Nos dois procedimentos os grupos de *A. lecointei* e *B. guianensis* obtiveram as melhores estimativas para o número total de árvores. De maneira geral, a ACS e a AS foram mais eficientes para estimar o número total de árvores dos grupos que possuem um padrão espacial com uma variação maior entre agregado e aleatório e para grupos que possuem densidade baixa, como é o caso dos grupos de *A. lecointei* e *B. guianensis*, com densidade de 0,13 e 0,12 árvores por hectare, respectivamente.

Nos dois procedimentos para os grupos de interesse de *C. guianensis* e *V. maxima* houve as piores estimativas do número total de árvores. A ACS e AS possuíram maior dificuldade de estimar com exatidão o número de árvores total dos grupos com um padrão espacial predominantemente agregado e que possuem na área os maiores valores de densidade, acima de 1 árvore por hectare, como é o caso dos grupos de *C. guianensis* e *V. maxima* (detalhes sobre padrão espacial e a baixa densidade no Capítulo I).

Dessa forma, os grupos de árvores comerciais com um padrão espacial com maior variação entre agregado e aleatório e uma baixa densidade mais acentuada, podem ter contribuído com as boas estimativas obtidas pelo procedimento de ACS em relação a exatidão (Figura 10).



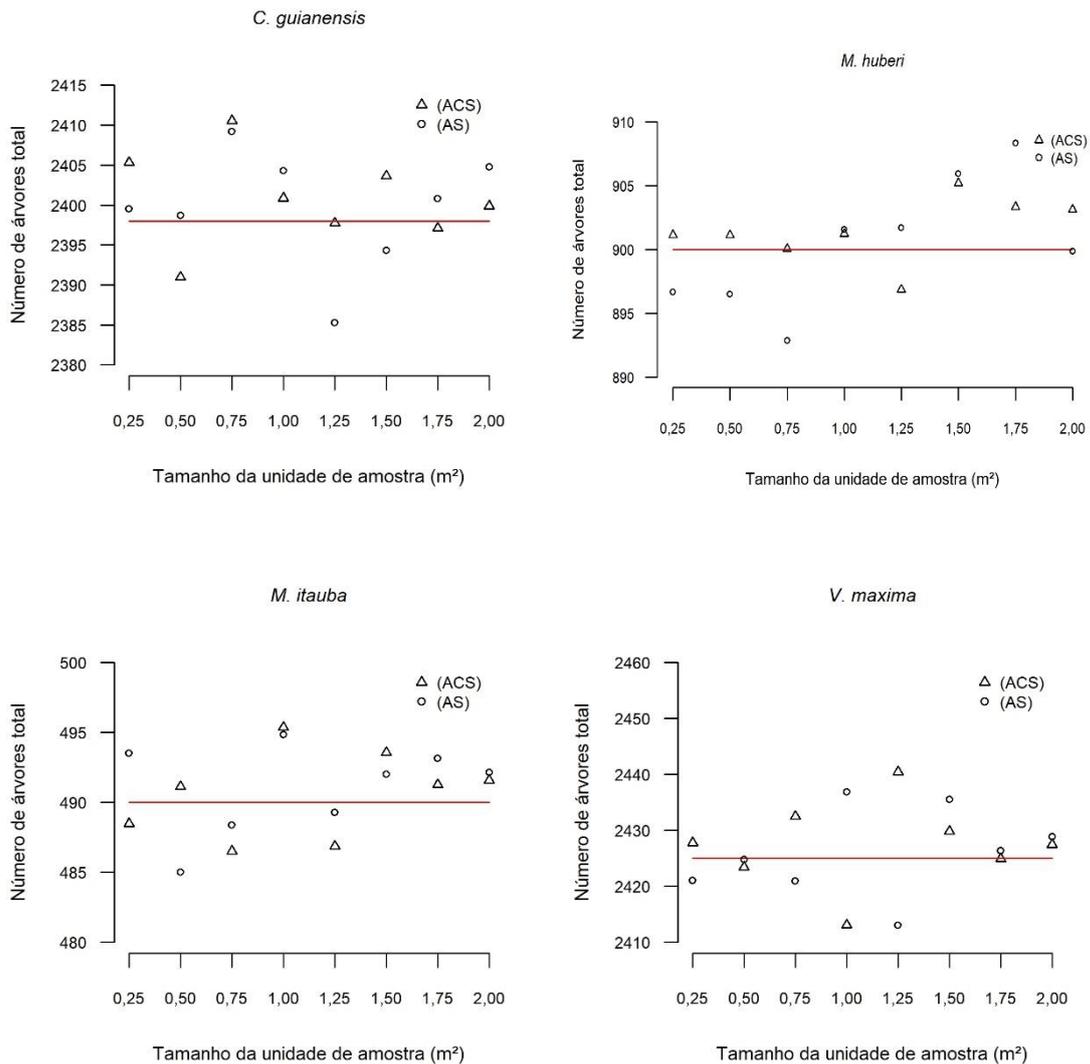


Figura 10. Número médio do total de árvores estimadas entre as 1.000 simulações, para cada grupo de árvores comerciais com padrão espacial agregado e com baixa densidade. Para cada unidade amostral foi utilizado os valores médios na intensidade que adquiriu o erro mínimo de 10% para a densidade em cada procedimento de amostragem. A linha vermelha representa o valor real do número de árvores total de cada grupo estudado.

3.6 F de Graybill

Entre a ACS e AS, em cada tamanho de unidade amostral e nas intensidades amostrais que adquiriram o erro de no mínimo 10% para a densidade em pelo menos um dos procedimentos, foi aplicado o teste F de Graybill com 95% de probabilidade. O teste foi realizando para os dois procedimentos nas mesmas intensidades amostrais.

Houve diferença significativa entre todos os testes realizados em relação a precisão e exatidão (Tabela 6). Para a precisão a AS apresentou diferença significativa em relação ao método padrão (ACS), reforçando que esse procedimento foi mais eficiente. Em relação a

exatidão nas unidades amostrais de 50 x 50 m, 50 x 100 m, 50 x 200 m, 50 x 250 m, 50 x 300 m, 50 x 350 m e 50 x 400 m em todas as intensidades amostrais e na unidade de 50 x 150 m na intensidade de 7% a ACS obteve melhores resultados. Somente na unidade de 50 x 150 m na intensidade de 6% a AS foi mais exata.

A tendência de obter melhores resultados de exatidão com a ACS, sobressai sobre qualquer vantagem que a AS oferece em obter a precisão desejada com menor esforço amostral. As estimativas corretas de densidade para os grupos de árvores comerciais estudados são de extrema importância, influenciam diretamente na determinação da capacidade de produção da área em questão e sobre possíveis ações futuras de manejo florestal, além do planejamento de medidas visando a conservação dos grupos de interesse. A superestimativa ou subestimativa da sua densidade pode proporcionar um planejamento falho e atividades florestais que extrapolem o que os grupos de árvores comerciais suportam em questão de sustentabilidade.

Tabela 6. Resultado do teste F de Graybill a 95% de probabilidade para os parâmetros precisão e exatidão, considerando as 1.000 simulações para cada procedimento. Utilizou-se o procedimento de amostragem ACS como método padrão, em comparação ao procedimento de AS. Em que (*) indica diferença significativa e ns diferença não significativa.

ACS x AS		F(H0)	
Tamanho da parcela (m)	Intensidade amostral	Precisão	Exatidão
50x50	6%	355,00*	374,96*
50x100	6%	695,90*	472,80*
	7%	874,78*	374,96*
50x150	6%	660,40*	558,47*
	7%	1.500,87*	444,97*
50x200	7%	1.628,01*	795,92*
	8%	1.585,38*	635,52*
	7%	1.321,56*	534,66*
50x250	8%	1.301,44*	653,90*
	7%	1.948,90*	404,53*
50x300	8%	2.621,98*	443,81*
	9%	2.218,95*	500,76*
	7%	1.812,49*	505,13*
50x350	8%	2.074,52*	384,79*
	9%	1.723,87*	428,13*
	7%	2.644,25*	341,43*
50x400	8%	2.792,92*	348,12*
	9%	3.514,69*	313,36*

3.7 Área basal e volume

Utilizou-se a variável densidade para definir o procedimento de amostragem, o tamanho da unidade de amostra e a intensidade amostral mais indicadas para determinar as estimativas de amostragem para a área basal e o volume do grupo de árvores comerciais com padrão espacial agregado e com baixa densidade. Considerando que na prática não são implantadas parcelas para a avaliação de apenas uma variável, e sim para a avaliação da densidade, área basal e volume em conjunto, a variável mais exigente entre as três foi a que determinou a intensidade amostral do procedimento (CAVALCANTI; MACHADO; HOSOKAWA; 2009),

Considerando principalmente a exatidão para evitar estimativas incoerentes com as reais, a ACS foi considerada a amostragem mais eficiente, utilizando uma unidade amostral de 50 x 300 m e uma intensidade de 9% da área de estudo. Para a área basal e volume não foi possível adquirir a precisão de no mínimo 10% de erro com a intensidade amostral de 9% (Tabela 7). Nesse caso, levando em consideração que a área basal foi a variável mais exigente com um erro amostral superior ao do volume de 11,56%, ela foi utilizada para calibrar a intensidade amostral para todas as variáveis de interesse. Dessa forma, em média seria necessário redimensionar a amostra baseando-se na área basal para 162 parcelas, com o intuito de adquirir a precisão desejada para a densidade, área basal e volume.

Para a área basal e o volume a exatidão foi um pouco pior que para a densidade dos grupos de árvores comerciais estudados, para as duas variáveis as estimativas foram superestimadas. Isso pode ter ocorrido pelo fato de com a amostragem o *DAP* (cm) médio e a *Hc* (altura comercial) média encontradas foram superiores aos valores de *DAP* (cm) médio real e *Hc* média real. Dessa forma, estimando valores de área basal e volume superiores.

Além do tamanho das unidades amostrais e da intensidade amostral, a forma de inventário praticada hoje pode ser outro fator determinante para alguns resultados insatisfatórios encontrados e da variação das estimativas para a densidade, área basal e volume. Além disso, ocorre muitas variações em relação a metodologia aplicada na região. Uma boa alternativa poderia ser modificar a forma de inventário e considerar a árvore como unidade amostral e considerar apenas a densidade como variável indicadora do erro amostral, já que é a variável que possui maior relação com o padrão espacial.

Tabela 7. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 1,000 simulações de ACS, com unidade amostral de 50 x 300 m e intensidade amostral de 9%. Para as estimativas com a área basal e volume do grupo de árvores comerciais, na FNT, Belterra, Pará. Em que: \bar{Y} número de árvores por hectare; $\pm S_{\bar{Y}}$ desvio padrão; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $| \text{Exa.}\% |$ a exatidão em módulo.

Estimativas	G (m ² .ha)			V (m ³ .ha)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
\bar{Y}	1,5773	1,3182	1,9493	11,8961	10,0949	14,7244
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,0925	0,0651	0,1698	0,6649	0,4654	1,1198
$\pm E\%$	11,56	8,46	20,51	11,04	8,19	18,11
\hat{T}	3.217,66	2.689,21	3.976,66	2.4268,10	20.593,50	30.037,85
$ \text{Exa.}\% $	4,76	0,00	23,75	4,51	0,00	23,78

4 CONCLUSÕES

Em relação a precisão a AS foi o procedimento que requereu menor esforço amostral para atingir o erro desejável de no mínimo 10% para a variável densidade. Já em relação a exatidão a ACS demonstrou captar de forma mais eficiente o padrão espacial agregado dos grupos de árvores comerciais e sua baixa densidade. Considerando que a variável de interesse em inventários florestais é a exatidão, a ACS é o procedimento mais indicado para a amostragem dos grupos de árvores estudados.

A ACS amostrou na área de forma mais exata os grupos de árvores comerciais com padrão espacial com uma maior variação entre agregado e aleatório e que possuem uma baixa densidade mais acentuada. Considerando a variável densidade, a unidade e intensidade amostral mais eficientes para a ACS foi de 50 x 300 m com 9% de intensidade. Para a ACS obter estimativas com precisão para as variáveis densidade, área basal e volume a intensidade amostral deve ser ampliada levando em consideração a variável mais exigente.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Norma de Execução nº 1, de 24 de abril de 2007. Altera as normas técnicas para o manejo florestal na Amazônia. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 83, 2 maio 2007. Seção 1, p. 91.
- BRASIL. Instrução Normativa 05, de 11 de dezembro de 2006. Dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Planos de Manejo Florestal Sustentável-PMFS nas florestas primitivas e suas formas de sucessão na Amazônia Legal, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 dez, 2006. Seção 1, p. 155.
- BRUZINGA, J.S. **Avaliação de métodos de amostragem de indivíduos adultos de pequi**. 97 f. 2012. Dissertação (Mestre em Ciência Florestal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG, 2012.
- BRUZINGA, J.S.; OLIVEIRA, M.L.R.; NOGUEIRA, G.S.; PEREIRA, I.M.; LEITE, H.G.; MACHADO, E.M. Métodos de amostragem para quantificar indivíduos adultos de pequi *Caryocar brasiliense* Cambess. **Ciência Rural**, v. 44, n. 8, p. 1341-1347, 2014.
- CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**. 5 Ed. Viçosa: Editora UFV, 2017. 636 p.
- CAVALCANTI, F.J.B.; MACHADO, S.A.; HOSOKAWA, R.T. Tamanho de unidade de amostra e intensidade amostral para espécies comerciais da Amazônia. **Floresta**, v. 39, n. 1, p. 207-214, 2009.
- CAVALCANTI, F.J.B.; MACHADO, S.A.; OSOKAWA, R.T.; CUNHA, U.S. Comparação dos valores estimados por amostragem na caracterização da estrutura de uma área de floresta na Amazônia com as informações registradas no censo florestal. **Revista Árvore**, v. 35, n. 5, p. 1061-1068, 2011.
- FARIAS, C.A.; SOARES, C.P.B.; SOUZA, A.L.; LEITE, H.G. Comparação de métodos de amostragem para análise estrutural de florestas inequidâneas. **Revista árvore**, v. 26, n. 5, p. 541-548, 2002.
- GARCIA, J.S.; LUZ, A.S.; GAMA, J.R.V. **Práticas de manejo florestal comunitário**. Santarém: Universidade Federal do Oeste do Pará, 2015. 44p.
- GRAYBILL, F.A. **Theory and application of the linear model**. Massachusetts: Ouxburg, 1976. 704 p.
- HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; JARDIM, F.C.S. Tamanho de Parcela Amostral para Inventários Florestais. **Acta Amazonica**, v. 12, n. 1, p. 91-103, 1982.
- HUSCH, B.; BEERS, T.W.; KERSHAW JR, J.A. **Forest mensuration**. 4th ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2003. 443 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Projeto zoneamento das potencialidades dos recursos naturais da Amazônia Legal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. 212 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Floresta Nacional do Tapajós – Plano de Manejo**. Brasília: IBAMA, 2004. 580 p.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – ICMbio. **Floresta Nacional do Tapajós**. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/flonatapajos/quem-somos.html>>. Acesso em: 10 de maio de 2018.

LEGENDRE, P.; FORTIN, M.J. Spatial pattern and ecological analysis. **Vegetatio**, v. 80, n. 2, p. 107-138, 1989.

LOETSCH, F.; HALLER, K. E. **Forest inventory**. Munique: BLV Verlagsgesellschaft, 1964. v. 1, 436 p.

OLIVEIRA, M.M.; HIGUCHI, N.; CELES, C.H.; HIGUCHI, F.G. Tamanho e formas de parcelas para inventários florestais de espécies arbóreas na Amazônia central. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 3, p. 645-653, 2014.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D.A. **Inventário Florestal**. Curitiba, 1993. 248 p.

QUEIROZ, W.T. **Amostragem em Inventário Florestal**. Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2012. 441 p.

R Core team (2017). **R: A Language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/>>. Acesso em 20 abr. 2017.

SÉ, D.C. **Efeito da correlação entre parcelas sobre a precisão em amostragem sistemática**. 61 f. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

SHIVER, B.D.; BORDERS, B.E. **Sampling Techniques for Forest Resource Inventory**. New York: John Wiley & Sons, 1996. 356 p.

SILVA, J.N.M. **Eficiência de diversos tamanhos e formas de unidades de amostras aplicadas em inventário florestal na região do baixo tapajós**. 83 f. 1980. Dissertação (Mestre em Engenharia florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 1980.

SILVA, K.E.; MARTINS, S.B.; SANTOS, N.T.; RIBEIRO, C.A.A.S. Padrões espaciais de espécies arbóreas tropicais. In: MARTINS, S.V.M. **Ecologia de Florestas Tropicais do Brasil**. Viçosa: Editora UFV, 2012. p. 216-244.

SMITH, D.R.; VILLELLA, R.F.; LIMARIÉ, D.P. Applications of adaptive cluster sampling to low-density populations of freshwater mussels. **Environmental and Ecological Statistics**, v. 10, n. 1, p. 7-15, 2003.

SOARES, C.P.B.; RODELLO, C.M.; SOUZA, A.L.; LEITE, H.G.; SOARES, V.P.; SILVA, G.F. Comparação entre procedimentos de amostragem para espécies florestais raras e padrão de distribuição espacial agregado. **Revista Árvore**, v. 33, n. 3, p. 545-553, 2009.

THOMPSON, S.K.; SEBER, G.A.F. **Adaptive sampling**. New York: John Wiley & Sons, 1996. 265 p.

UBIALLI, J.A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S.A.; ARCE, J.E. Comparação de métodos e processos de amostragem para estudos fitossociológicos em uma floresta ecotonal na região norte mato-grossense. **Acta amazonica**, v. 39, n. 2, p. 511-523, 2009.

APÊNDICE A – Tabelas com as estimativas médias para as simulações realizadas com a ACS e AS.

Tabela 1A. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 1.000 simulações de ACS, com unidade amostral de 50 x 50 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: \bar{Y} número de árvores por hectare; $\pm S_{\bar{Y}}$ desvio padrão; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $| \text{Exa.}\% |$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 80 (1%)			n= 160 (2%)			n= 240 (3%)			n= 320 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo									
\bar{Y}	3,3279	2,1000	4,8000	3,3514	2,5500	4,4250	3,3596	2,7167	4,1500	3,3541	2,7125	4,0875
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,4262	0,3035	0,5472	0,3005	0,2388	0,3909	0,2452	0,2036	0,2991	0,2109	0,1760	0,2576
$\pm E\%$	25,72	19,04	33,46	17,77	14,19	22,13	14,41	11,88	17,34	12,40	10,63	14,36
\hat{T}	6.655,80	4.200,00	9.600,00	6.702,80	5.100,00	8.850,00	6.719,17	5.433,33	8.300,00	6.708,18	5.425,00	8.175,00
$ \text{Exa.}\% $	10,78	0,01	43,26	7,23	0,01	32,07	5,75	0,01	23,86	5,23	0,01	22,00
Cont.	n= 400 (5%)			n= 480 (6%)								
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo						
\bar{Y}	3,3526	2,8300	3,8800	3,3571	2,7750	3,9417						
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,1876	0,1618	0,2186	0,1707	0,1449	0,2006						
$\pm E\%$	11,01	9,51	12,54	10,00	8,68	11,31						
\hat{T}	6.705,28	5.660,00	7.760,00	6.714,28	5.550,00	7.883,33						
$ \text{Exa.}\% $	4,42	0,01	15,80	4,16	0,01	17,64						

Tabela 2A. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 1.000 simulações de ACS, com unidade amostral de 50 x 100 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: \bar{Y} número de árvores por hectare; $\pm S_{\bar{Y}}$ desvio padrão; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $| \text{Exa.}\% |$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 40 (1%)			n= 80 (2%)			n= 120 (3%)			n= 160 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo									
\bar{Y}	3,3589	1,9500	4,7500	3,3451	2,4500	4,2750	3,3419	2,5000	4,1833	3,3454	2,6750	4,0625
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,4392	0,2661	0,6963	0,3124	0,2244	0,4179	0,2524	0,1920	0,3350	0,2186	0,1761	0,2723
$\pm E\%$	26,67	17,08	40,48	18,66	13,41	25,27	14,99	12,09	18,57	12,92	10,35	16,48
\hat{T}	6.717,70	3.900,00	9.500,00	6.690,15	4.900,00	8.550,00	6.683,87	5.000,00	8.366,67	6.690,75	5.350,00	8.125,00
$ \text{Exa.}\% $	11,03	0,01	41,80	7,65	0,01	27,59	6,04	0,01	25,38	5,25	0,01	21,25
Cont.	n= 200 (5%)			n= 240 (6%)			n= 280 (7%)					
	Média	Mínimo	Máximo									
\bar{Y}	3,3544	2,6700	3,8700	3,3392	2,7500	3,9333	3,3474	2,8929	3,9714			
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,1949	0,1634	0,2309	0,1765	0,1487	0,2138	0,1633	0,1398	0,1946			
$\pm E\%$	11,47	9,63	13,99	10,42	9,04	12,31	9,61	8,16	11,37			
\hat{T}	6.708,84	5.340,00	7.740,00	6.678,40	5.500,00	7.866,67	6.694,80	5.785,71	7.942,86			
$ \text{Exa.}\% $	4,60	0,01	20,31	4,17	0,01	17,92	3,85	0,01	18,53			

Tabela 3A. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 1.000 simulações de ACS, com unidade amostral de 50 x 150 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: \bar{Y} número de árvores por hectare; $\pm S_{\bar{Y}}$ desvio padrão; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $|\text{Exa.}\%|$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 27 (1%)			n= 54 (2%)			n= 81 (3%)			n= 108 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
\bar{Y}	3,3802	2,0247	4,9877	3,3362	2,3951	4,3951	3,3629	2,6337	4,1481	3,3622	2,6543	4,1235
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,4551	0,2487	0,6752	0,3196	0,1986	0,4279	0,2607	0,1922	0,3411	0,2238	0,1764	0,2683
$\pm E\%$	27,90	17,37	45,51	19,29	12,60	25,56	15,47	11,43	19,89	13,22	10,67	16,12
\hat{T}	6.794,20	4.069,63	10.025,19	6.705,76	4.814,07	8.834,07	6.759,39	5.293,83	8.337,78	6.758,02	5.335,19	8.288,15
$ \text{Exa.}\% $	10,99	0,13	48,72	7,71	0,13	31,05	6,32	0,13	23,69	5,64	0,13	22,95
Cont.	n= 134 (5%)			n= 161 (6%)			n= 188 (7%)					
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
\bar{Y}	3,3490	2,7861	4,0199	3,3435	2,7743	3,9337	3,3638	2,8652	3,8794			
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,1999	0,1573	0,2483	0,1815	0,1524	0,2172	0,1680	0,1354	0,1995			
$\pm E\%$	11,82	9,50	14,64	10,73	8,71	12,35	9,86	8,51	12,02			
\hat{T}	6.731,56	5.600,00	8.080,00	6.720,49	5.576,40	7.906,83	6.761,18	5.759,15	7.797,66			
$ \text{Exa.}\% $	4,86	0,01	19,86	4,47	0,01	17,29	3,94	0,03	15,68			

Tabela 4A. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 1.000 simulações de ACS, com unidade amostral de 50 x 200 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: \bar{Y} número de árvores por hectare; $\pm S_{\bar{Y}}$ desvio padrão; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $| \text{Exa.}\% |$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 20 (1%)			n= 40 (2%)			n= 60 (3%)			n= 80 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
\bar{Y}	3,3635	1,9500	5,2000	3,3439	2,2250	4,5250	3,3448	2,5667	4,3000	3,3558	2,6750	4,1500
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,4758	0,2222	0,7861	0,3386	0,2123	0,4896	0,2761	0,1921	0,3962	0,2379	0,1686	0,3320
$\pm E\%$	29,80	18,12	53,46	20,55	12,01	29,74	16,56	11,69	22,33	14,13	10,19	18,48
\hat{T}	6.726,90	3.900,00	10.400,00	6.687,85	4.450,00	9.050,00	6.689,50	5.133,33	8.600,00	6.711,50	5.350,00	8.300,00
$ \text{Exa.}\% $	11,21	0,01	55,20	8,16	0,01	35,05	6,71	0,01	28,34	5,52	0,01	23,86
Cont.	n= 100 (5%)			n= 120 (6%)			n= 140 (7%)			n= 160 (8%)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
\bar{Y}	3,3511	2,7100	4,0000	3,3485	2,7333	4,1167	3,3548	2,7714	3,9500	3,3490	2,7625	3,8000
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,2112	0,1564	0,2684	0,1924	0,1437	0,2519	0,1779	0,1367	0,2218	0,1647	0,1346	0,2010
$\pm E\%$	12,52	9,54	15,19	11,39	8,82	14,47	10,49	8,45	13,01	9,72	8,15	11,69
\hat{T}	6.702,10	5.420,00	8.000,00	6.696,92	5.466,67	8.233,33	6.709,51	5.542,86	7.900,00	6.697,90	5.525,00	7.600,00
$ \text{Exa.}\% $	5,10	0,01	19,39	4,44	0,01	22,87	4,27	0,01	17,89	4,03	0,01	17,55

Tabela 5A. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 1.000 simulações de ACS, com unidade amostral de 50 x 250 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: \bar{Y} número de árvores por hectare; $\pm S_{\bar{Y}}$ desvio padrão; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $|\text{Exa.}\%|$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 16 (1%)			n= 32 (2%)			n= 48 (3%)			n= 64 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
\bar{Y}	3,3470	2,1000	5,0500	3,3534	2,3000	4,3250	3,3626	2,5167	4,3667	3,3465	2,7000	4,2125
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,4855	0,1990	0,8551	0,3487	0,1839	0,4927	0,2820	0,1912	0,3762	0,2422	0,1733	0,3303
$\pm E\%$	31,12	14,57	59,06	21,29	13,69	31,59	16,91	11,58	22,83	14,49	10,49	18,72
\hat{T}	6.693,90	4.200,00	10.100,00	6.706,70	4.600,00	8.650,00	6.725,13	5.033,33	8.733,33	6.693,00	5.400,00	8.425,00
$ \text{Exa.}\% $	11,78	0,01	50,72	8,16	0,01	31,35	6,78	0,01	30,33	5,84	0,01	25,73
Cont.	n= 80 (5%)			n= 96 (6%)			n= 112 (7%)			n= 128 (8%)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
\bar{Y}	3,3584	2,7200	4,0200	3,3559	2,7500	4,0167	3,3595	2,8714	3,8500	3,3531	2,8938	3,9000
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,2170	0,1626	0,2755	0,1968	0,1489	0,2520	0,1821	0,1427	0,2216	0,1692	0,1336	0,2053
$\pm E\%$	12,87	9,88	16,44	11,65	8,98	14,23	10,75	8,65	12,97	9,99	8,02	11,88
\hat{T}	6.716,78	5.440,00	8.040,00	6.711,87	5.500,00	8.033,33	6.719,06	5.742,86	7.700,00	6.706,14	5.787,50	7.800,00
$ \text{Exa.}\% $	5,08	0,01	19,98	4,62	0,01	19,88	4,47	0,01	14,91	4,15	0,01	16,40

Tabela 6A. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 1.000 simulações de ACS, com unidade amostral de 50 x 300 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: \bar{Y} número de árvores por hectare; $\pm S_{\bar{Y}}$ desvio padrão; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $| \text{Exa.}\% |$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 14 (1%)			n= 28 (2%)			n= 41 (3%)			n= 55 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
\bar{Y}	3,3770	1,7619	5,2857	3,3428	2,3571	4,7143	3,3493	2,5203	4,5528	3,3284	2,5818	4,2182
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,4805	0,2040	0,8641	0,3424	0,1980	0,4830	0,2852	0,1908	0,3950	0,2424	0,1508	0,3302
$\pm E\%$	31,00	14,26	62,52	21,10	12,10	32,17	17,26	12,04	24,37	14,64	9,76	19,83
\hat{T}	6.888,98	3.594,29	10.782,86	6.819,33	4.808,57	9.617,14	6.832,67	5.141,46	9.287,80	6.789,99	5.266,91	8.605,09
$ \text{Exa.}\% $	12,17	0,31	58,08	8,77	0,31	40,99	6,58	0,18	36,16	6,12	0,05	26,16
Cont.	n= 68 (5%)			n= 82 (6%)			n= 96 (7%)			n= 109 (8%)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
\bar{Y}	3,3390	2,6961	4,3431	3,3489	2,6260	4,0650	3,3379	2,7222	3,8542	3,3460	2,8746	3,7920
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,2192	0,1616	0,2915	0,1980	0,1428	0,2570	0,1811	0,1377	0,2221	0,1695	0,1266	0,2068
$\pm E\%$	13,12	9,67	16,56	11,77	8,67	15,30	10,78	8,57	13,11	10,05	8,23	12,12
\hat{T}	6.811,64	5.500,00	8.860,00	6.831,84	5.357,07	8.292,68	6.809,25	5.553,33	7.862,50	6.825,77	5.864,22	7.735,78
$ \text{Exa.}\% $	5,11	0,01	29,89	4,64	0,06	21,58	4,28	0,10	18,58	4,01	0,06	14,03
Cont.	n= 123 (9%)											
	Média	Mínimo	Máximo									
\bar{Y}	3,3545	2,8889	4,0054									
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,1594	0,1246	0,1913									
$\pm E\%$	9,41	7,74	11,55									
\hat{T}	6.843,14	5.893,33	8.171,06									
$ \text{Exa.}\% $	3,72	0,02	19,79									

Tabela 7A. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 1.000 simulações de ACS, com unidade amostral de 50 x 350 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: \bar{Y} número de árvores por hectare; $\pm S_{\bar{Y}}$ desvio padrão; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $|\text{Exa.}\%|$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 12 (1%)			n= 24 (2%)			n= 35 (3%)			n= 47 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
\bar{Y}	3,3485	1,8571	4,9524	3,3341	2,0952	4,3810	3,3583	2,4980	4,4898	3,3521	2,5775	4,1459
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,4965	0,2040	0,8583	0,3525	0,1864	0,5205	0,2930	0,1716	0,4215	0,2508	0,1635	0,3495
$\pm E\%$	32,83	15,54	55,92	21,96	12,36	34,36	17,77	11,11	24,49	15,09	10,90	19,54
\hat{T}	6.797,50	3.770,00	10.053,33	6.768,21	4.253,33	8.893,33	6.817,35	5.070,86	9.114,29	6.804,76	5.232,34	8.416,17
$ \text{Exa.}\% $	12,02	0,50	47,82	8,75	0,21	37,46	6,79	0,10	34,01	6,16	0,16	23,75
Cont.	n= 58 (5%)			n= 70 (6%)			n= 82 (7%)			n= 93 (8%)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
\bar{Y}	3,3597	2,6502	4,0788	3,3440	2,6122	4,0245	3,3497	2,8014	3,9512	3,3590	2,7711	3,9877
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,2250	0,1535	0,3173	0,2031	0,1433	0,2678	0,1874	0,1411	0,2318	0,1751	0,1268	0,2157
$\pm E\%$	13,42	9,87	17,57	12,13	9,15	15,33	11,14	8,74	14,21	10,36	8,13	12,59
\hat{T}	6.820,10	5.380,00	8.280,00	6.788,40	5.302,86	8.169,71	6.799,99	5.686,83	8.020,98	6.818,73	5.625,38	8.095,05
$ \text{Exa.}\% $	5,36	0,01	21,75	5,10	0,10	22,03	4,37	0,05	17,94	4,16	0,05	19,03
Cont.	n= 105 (9%)											
	Média	Mínimo	Máximo									
\bar{Y}	3,3521	2,8898	4,0980									
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,1640	0,1271	0,1985									
$\pm E\%$	9,71	7,56	11,57									
\hat{T}	6.804,80	5.866,29	8.318,86									
$ \text{Exa.}\% $	3,98	0,06	22,32									

Tabela 8A. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 1.000 simulações de ACS, com unidade amostral de 50 x 400 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: \bar{Y} número de árvores por hectare; $\pm S_{\bar{Y}}$ desvio padrão; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $| \text{Exa.}\% |$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 11 (1%)			n= 21 (2%)			n= 31 (3%)			n= 41 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
\bar{Y}	3,3481	1,8182	5,0455	3,3565	2,3571	4,5476	3,3360	2,3548	4,3871	3,3659	2,5122	4,1585
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,4889	0,1679	0,8701	0,3552	0,1804	0,5844	0,2886	0,1780	0,4163	0,2540	0,1632	0,3507
$\pm E\%$	32,72	12,69	55,17	22,15	13,06	33,24	17,71	11,60	25,39	15,28	10,55	20,43
\hat{T}	6.830,11	3.709,09	10.292,73	6.847,16	4.808,57	9.277,14	6.805,41	4.803,87	8.949,68	6.866,47	5.124,88	8.483,41
$ \text{Exa.}\% $	12,21	0,60	50,90	8,73	0,31	36,01	7,04	0,15	31,21	6,06	0,06	24,87
Cont.	n= 51 (5%)			n= 62 (6%)			n= 72 (7%)			n= 82 (8%)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
\bar{Y}	3,3367	2,6275	4,0588	3,3447	2,5726	3,9758	3,3461	2,7639	4,0417	3,3381	2,8598	3,8902
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,2250	0,1540	0,3143	0,2037	0,1495	0,2595	0,1884	0,1272	0,2421	0,1755	0,1342	0,2280
$\pm E\%$	13,56	10,16	17,82	12,19	9,17	15,47	11,24	8,81	14,03	10,47	8,17	12,65
\hat{T}	6.806,78	5.360,00	8.280,00	6.823,14	5.248,06	8.110,65	6.826,08	5.638,33	8.245,00	6.809,63	5.833,90	7.936,10
$ \text{Exa.}\% $	5,52	0,01	21,42	4,87	0,09	23,06	4,57	0,10	20,88	4,13	0,06	16,35
Cont.	n= 92 (9%)											
	Média	Mínimo	Máximo									
\bar{Y}	3,3483	2,8315	3,8913									
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,1647	0,1294	0,2063									
$\pm E\%$	9,78	7,66	11,91									
\hat{T}	6.830,53	5.776,30	7.938,26									
$ \text{Exa.}\% $	3,82	0,04	16,38									

Tabela 9A. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 1.000 simulações de AS, com unidade amostral de 50 x 50 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: \bar{Y} número de árvores por hectare; $\pm S_{\bar{Y}}$ desvio padrão; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $|\text{Exa.}\%|$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 80 (1%)			n= 160 (2%)			n= 240 (3%)			n= 320 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo									
\bar{Y}	3,3279	2,1000	4,8000	3,3622	2,4000	4,2500	3,3610	2,5167	4,1000	3,3693	2,4500	4,1125
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,4106	0,2719	0,5675	0,2927	0,2269	0,3645	0,2334	0,1932	0,2844	0,2025	0,1616	0,2494
$\pm E\%$	24,77	16,38	34,62	17,28	13,76	22,36	13,73	11,35	16,91	11,88	9,78	14,58
\hat{T}	6.655,80	4.200,00	9.600,00	6.724,40	4.800,00	8.500,00	6.721,90	5.033,33	8.200,00	6.738,50	4.900,00	8.225,00
$ \text{Exa.}\% $	10,78	0,01	43,26	7,53	0,01	28,37	7,36	0,01	24,89	7,98	0,01	26,88
Cont.	n= 400 (5%)			n= 480 (6%)								
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo						
\bar{Y}	3,3298	2,5100	4,1400	3,3491	2,7000	3,9833						
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,1799	0,1387	0,2171	0,1649	0,1299	0,1910						
$\pm E\%$	10,67	8,79	13,06	9,70	8,18	11,22						
\hat{T}	6.659,66	5.020,00	8.280,00	6.698,10	5.400,00	7.966,67						
$ \text{Exa.}\% $	8,95	0,01	25,09	7,01	0,01	19,42						

Tabela 10A. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 1.000 simulações de AS, com unidade amostral de 50 x 100 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: \bar{Y} número de árvores por hectare; $\pm S_{\bar{Y}}$ desvio padrão; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $| \text{Exa.}\% |$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 40 (1%)			n= 80 (2%)			n= 120 (3%)			n= 160 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo									
\bar{Y}	3,3769	2,2500	4,7500	3,3407	2,4000	4,5500	3,3312	2,5333	4,1833	3,3538	2,7375	4,0375
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,4208	0,2594	0,6806	0,2959	0,2106	0,4149	0,2383	0,1802	0,2951	0,2065	0,1561	0,2582
$\pm E\%$	25,42	16,10	45,09	17,73	13,12	24,41	14,23	10,46	17,29	12,19	9,34	15,67
\hat{T}	6.753,80	4.500,00	9.500,00	6.681,30	4.800,00	9.100,00	6.662,47	5.066,67	8.366,67	6.707,55	5.475,00	8.075,00
$ \text{Exa.}\% $	11,08	0,01	41,77	9,13	0,01	35,80	7,93	0,01	24,86	5,39	0,01	20,50
Cont.	n= 200 (5%)			n= 240 (6%)			n= 280 (7%)					
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo			
\bar{Y}	3,3476	2,5800	4,3100	3,3462	2,6583	4,2167	3,3663	2,7786	4,1357			
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,1805	0,1402	0,2216	0,1645	0,1294	0,1965	0,1526	0,1203	0,1747			
$\pm E\%$	10,68	8,72	12,84	9,74	8,19	11,41	8,96	7,72	10,46			
\hat{T}	6.695,22	5.160,00	8.620,00	6.692,48	5.316,67	8.433,33	6.732,53	5.557,14	8.271,43			
$ \text{Exa.}\% $	9,06	0,01	28,64	9,40	0,01	25,85	7,42	0,01	23,44			

Tabela 11A. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 1.000 simulações de AS, com unidade amostral de 50 x 150 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: \bar{Y} número de árvores por hectare; $\pm S_{\bar{Y}}$ desvio padrão; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $|\text{Exa.}\%|$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 27 (1%)			n= 54 (2%)			n= 81 (3%)			n= 108 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo									
\bar{Y}	3,3588	2,1728	4,8889	3,3356	2,3951	4,3951	3,3550	2,5844	4,4609	3,3443	2,5062	4,3210
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,4165	0,2401	0,7090	0,2913	0,2012	0,4110	0,2370	0,1794	0,3067	0,2072	0,1530	0,2570
$\pm E\%$	25,67	13,01	38,52	17,62	11,49	24,03	14,11	10,54	17,74	12,36	9,34	16,32
\hat{T}	6.751,12	4.367,41	9.826,67	6.704,62	4.814,07	8.834,07	6.743,61	5.194,57	8.966,42	6.722,06	5.037,41	8.685,19
$ \text{Exa.}\% $	10,38	0,13	45,77	9,09	0,13	31,05	7,02	0,13	33,01	8,93	0,13	28,84
Cont.	n= 134 (5%)			n= 161 (6%)			n= 188 (7%)					
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo			
\bar{Y}	3,3437	2,6866	3,9104	3,3545	2,8240	3,7350	3,3553	2,8794	3,8085			
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,1846	0,1484	0,2415	0,1686	0,1346	0,2113	0,1553	0,1277	0,1839			
$\pm E\%$	10,96	8,76	13,88	9,93	8,16	12,15	9,14	7,82	10,82			
\hat{T}	6.720,84	5.400,00	7.860,00	6.742,61	5.676,27	7.507,33	6.744,08	5.787,66	7.655,11			
$ \text{Exa.}\% $	6,75	0,01	19,89	4,33	0,01	15,79	4,84	0,03	14,14			

Tabela 12A. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 1.000 simulações de AS, com unidade amostral de 50 x 200 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: \bar{Y} número de árvores por hectare; $\pm S_{\bar{Y}}$ desvio padrão; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $| \text{Exa.}\% |$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 20 (1%)			n= 40 (2%)			n= 60 (3%)			n= 80 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo									
\bar{Y}	3,3621	1,9000	4,9000	3,3504	2,2250	4,7250	3,3225	2,4667	4,4500	3,3635	2,5500	4,1875
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,4333	0,1840	0,7907	0,3084	0,1876	0,4886	0,2506	0,1575	0,3284	0,2178	0,1651	0,2867
$\pm E\%$	27,23	13,44	46,57	18,68	11,74	28,68	15,17	9,60	20,44	12,92	9,53	17,27
\hat{T}	6.724,10	3.800,00	9.800,00	6.700,80	4.450,00	9.450,00	6.645,00	4.933,33	8.900,00	6.727,03	5.100,00	8.375,00
$ \text{Exa.}\% $	12,39	0,01	46,25	8,93	0,01	41,02	9,83	0,01	32,82	7,91	0,01	24,98
Cont.	n= 100 (5%)			n= 120 (6%)			n= 140 (7%)			n= 160 (8%)		
	Média	Mínimo	Máximo									
\bar{Y}	3,3590	2,7500	3,9200	3,3375	2,4583	4,3000	3,3624	2,5500	4,1929	3,3319	2,6188	4,1313
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,1921	0,1378	0,2434	0,1698	0,1304	0,2256	0,1564	0,1168	0,2154	0,1448	0,1085	0,1931
$\pm E\%$	11,39	9,04	14,41	10,12	7,93	12,14	9,23	7,69	11,72	8,60	7,25	10,81
\hat{T}	6.717,90	5.500,00	7.840,00	6.674,90	4.916,67	8.600,00	6.724,84	5.100,00	8.385,71	6.663,71	5.237,50	8.262,50
$ \text{Exa.}\% $	6,14	0,01	17,92	10,98	0,01	28,34	10,72	0,01	25,14	9,33	0,01	23,30

Tabela 13A. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 1.000 simulações de AS, com unidade amostral de 50 x 250 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: \bar{Y} número de árvores por hectare; $\pm S_{\bar{Y}}$ desvio padrão; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $|\text{Exa.}\%|$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 16 (1%)			n= 32 (2%)			n= 48 (3%)			n= 64 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
\bar{Y}	3,3506	2,0000	4,5500	3,3680	2,5500	4,1250	3,3394	2,5000	4,6000	3,3354	2,7000	4,0750
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,4349	0,1498	0,7357	0,3114	0,1687	0,4850	0,2523	0,1790	0,3381	0,2166	0,1656	0,2748
$\pm E\%$	27,96	11,01	49,69	18,90	12,47	27,36	15,28	8,91	21,76	13,04	9,36	16,62
\hat{T}	6.701,10	4.000,00	9.100,00	6.735,90	5.100,00	8.250,00	6.678,80	5.000,00	9.200,00	6.670,70	5.400,00	8.150,00
$ \text{Exa.}\% $	12,24	0,01	40,31	8,09	0,01	23,89	8,88	0,01	37,29	6,67	0,01	21,62
Cont.	n= 80 (5%)			n= 96 (6%)			n= 112 (7%)			n=128 (8%)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
\bar{Y}	3,3631	2,3800	4,4300	3,3530	2,5417	4,3667	3,3411	2,5643	4,1071	3,3495	2,6313	4,1438
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,1886	0,1336	0,2505	0,1719	0,1279	0,2232	0,1575	0,1241	0,1963	0,1467	0,1106	0,1960
$\pm E\%$	11,24	8,29	15,82	10,22	8,25	13,16	9,40	7,06	11,89	8,70	6,82	10,80
\hat{T}	6.726,14	4.760,00	8.860,00	6.706,03	5.083,33	8.733,33	6.682,21	5.128,57	8.214,29	6.699,06	5.262,50	8.287,50
$ \text{Exa.}\% $	12,38	0,01	32,22	10,29	0,01	30,33	9,63	0,01	23,47	9,45	0,01	23,68

Tabela 14A. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 1.000 simulações de AS, com unidade amostral de 50 x 300 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: \bar{Y} número de árvores por hectare; $\pm S_{\bar{Y}}$ desvio padrão; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $| \text{Exa.}\% |$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 14 (1%)			n= 28 (2%)			n= 41 (3%)			n= 55 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
\bar{Y}	3,3574	1,9524	4,7619	3,3401	2,2857	4,2143	3,3380	2,4553	4,1463	3,3491	2,4121	4,4970
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,4218	0,1703	0,7703	0,3007	0,1763	0,4751	0,2470	0,1512	0,3405	0,2068	0,1460	0,3056
$\pm E\%$	27,56	11,95	53,79	18,61	11,11	30,12	15,01	9,43	22,19	12,53	6,91	17,65
\hat{T}	6.849,06	3.982,86	9.714,29	6.813,89	4.662,86	8.597,14	6.809,59	5.008,78	8.458,54	6.832,07	4.920,73	9.173,82
$ \text{Exa.}\% $	14,02	0,31	42,42	9,25	0,31	31,64	7,30	0,18	26,57	11,35	0,05	34,49
Cont.	n= 68 (5%)			n= 82 (6%)			n= 96 (7%)			n= 109 (8%)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
\bar{Y}	3,3230	2,3824	4,3431	3,3328	2,5528	4,3333	3,3520	2,6389	4,2014	3,3483	2,6850	4,0245
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,1858	0,1339	0,2475	0,1668	0,1222	0,2282	0,1549	0,1177	0,2064	0,1443	0,1096	0,1679
$\pm E\%$	11,28	8,00	16,57	10,01	7,51	12,74	9,20	7,25	11,22	8,58	6,59	10,89
\hat{T}	6.778,90	4.860,00	8.860,00	6.798,96	5.207,80	8.840,00	6.838,02	5.383,33	8.570,83	6.830,48	5.477,43	8.209,91
$ \text{Exa.}\% $	11,28	0,01	29,89	10,14	0,06	29,60	8,13	0,10	25,65	7,71	0,06	20,36
Cont.	n= 123 (9%)											
	Média	Mínimo	Máximo									
\bar{Y}	3,3444	2,7588	3,9187									
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,1354	0,1024	0,1564									
$\pm E\%$	8,05	6,43	9,92									
\hat{T}	6.822,57	5.627,97	7.994,15									
$ \text{Exa.}\% $	6,93	0,02	17,49									

Tabela 15A. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 1.000 simulações de AS, com unidade amostral de 50 x 350 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: \bar{Y} número de árvores por hectare; $\pm S_{\bar{Y}}$ desvio padrão; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $|\text{Exa.}\%|$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 12 (1%)			n= 24 (2%)			n= 35 (3%)			n= 47 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
\bar{Y}	3,3390	1,8095	5,3333	3,3588	2,1429	4,5238	3,3506	2,5306	4,1633	3,3728	2,0182	4,5350
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,4302	0,1355	0,9414	0,3069	0,1685	0,5000	0,2540	0,1611	0,3495	0,2114	0,1472	0,3391
$\pm E\%$	28,66	8,70	48,88	18,96	11,51	28,32	15,41	10,37	20,96	12,71	9,01	18,91
\hat{T}	6.778,17	3.673,33	10.826,67	6.818,38	4.350,00	9.183,33	6.801,78	5.137,14	8.451,43	6.846,79	4.097,02	9.205,96
$ \text{Exa.}\% $	14,56	0,50	59,19	9,51	0,21	36,04	5,83	0,10	24,46	10,65	0,16	39,76
Cont.	n= 58 (5%)			n= 70 (6%)			n= 82 (7%)			n= 93 (8%)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
\bar{Y}	3,3496	2,5616	4,2956	3,3638	2,4980	4,2857	3,3571	2,6272	4,2160	3,3439	2,6052	3,9877
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,1913	0,1244	0,2524	0,1732	0,1232	0,2331	0,1589	0,1146	0,2151	0,1479	0,1092	0,1996
$\pm E\%$	11,54	7,89	14,71	10,33	7,27	13,01	9,44	7,05	12,66	8,79	6,68	11,32
\hat{T}	6.799,62	5.200,00	8.720,00	6.828,46	5.070,86	8.700,00	6.814,93	5.333,17	8.558,54	6.788,08	5.288,60	8.095,05
$ \text{Exa.}\% $	10,72	0,01	28,22	9,34	0,10	27,92	8,52	0,05	25,84	6,59	0,05	22,24
Cont.	n= 105											
	Média	Mínimo	Máximo									
\bar{Y}	3,3538	2,7755	3,9456									
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,1383	0,1065	0,1644									
$\pm E\%$	8,21	5,58	10,31									
\hat{T}	6.808,27	5.634,29	8.009,52									
$ \text{Exa.}\% $	6,61	0,06	17,77									

Tabela 16A. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 1.000 simulações de AS, com unidade amostral de 50 x 400 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: \bar{Y} número de árvores por hectare; $\pm S_{\bar{Y}}$ desvio padrão; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $| \text{Exa.}\% |$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 11 (1%)			n= 21 (2%)			n= 31 (3%)			n= 41 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo									
\bar{Y}	3,3200	2,0455	4,8182	3,3572	2,3571	4,5952	3,3449	2,0645	4,4355	3,3402	2,2805	4,3902
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,4204	0,1643	0,8219	0,3012	0,1901	0,4514	0,2375	0,1317	0,3594	0,2071	0,1314	0,2931
$\pm E\%$	28,69	11,20	52,91	18,82	11,82	33,47	14,65	8,69	22,56	12,61	8,22	20,41
\hat{T}	6.772,71	4.172,73	9.829,09	6.848,77	4.808,57	9.374,29	6.823,50	4.211,61	9.048,39	6.813,92	4.652,20	8.956,10
$ \text{Exa.}\% $	13,32	0,60	44,10	9,04	0,31	37,43	12,33	0,15	38,26	10,26	0,06	31,80
Cont.	n= 51 (5%)			n= 62 (6%)			n= 72 (7%)			n= 82 (8%)		
	Média	Mínimo	Máximo									
\bar{Y}	3,347	2,598	4,314	3,3559	2,6048	4,1129	3,3500	2,6181	4,1111	3,3451	2,6098	4,0000
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,185	0,139	0,252	0,1682	0,1283	0,2207	0,1546	0,1126	0,1859	0,1442	0,1168	0,1780
$\pm E\%$	11,20	7,29	15,64	10,10	7,27	13,23	9,25	7,33	11,78	8,61	6,93	11,91
\hat{T}	6.828,54	5.300,00	8.800,00	6.846,03	5.313,87	8.390,32	6.834,03	5.340,83	8.386,67	6.824,04	5.323,90	8.160,00
$ \text{Exa.}\% $	9,42	0,01	29,01	8,53	0,09	23,01	7,41	0,10	22,95	6,51	0,06	21,95
Cont.	n= 92 (9%)											
	Média	Mínimo	Máximo									
\bar{Y}	3,3485	2,6685	3,8370									
$\pm S_{\bar{Y}}$	0,1351	0,1098	0,1616									
$\pm E\%$	8,03	6,64	10,62									
\hat{T}	6.830,95	5.443,70	7.827,39									
$ \text{Exa.}\% $	5,11	0,04	20,19									

CAPÍTULO 3

AMOSTRAGEM ADAPTATIVA EM CLUSTER MULTIVARIADA PARA GRUPOS DE ÁRVORES COMERCIAIS E COM BAIXA DENSIDADE DA AMAZÔNIA

RESUMO

O objetivo do trabalho foi verificar se a Amostragem Adaptativa em Cluster é eficiente para grupos de árvores comerciais com padrão espacial agregado e com baixa densidade. O estudo foi realizado nas Unidades de Produção Anual (UPA) 8 e 9, na Floresta Nacional do Tapajós (FNT), município de Belterra, estado do Pará. A coleta de dados foi realizada por censo florestal em uma área de 2.000 ha. Foram mensurados a circunferência a 1,30 m do solo (*CAP*) das árvores que possuíam *CAP* igual ou superior a 158 cm, qualidade do fuste e as coordenadas cartesianas das árvores de seis grupos de árvores comerciais que possuem padrão espacial agregado e baixa densidade. As condições de inclusão (*C*) usadas no procedimento de amostragem Adaptativa em Cluster Multivariada foram que a árvore obtivesse *DAP* igual ou superior a 50 cm, não possuir fuste bifurcado ou cônico, o fuste ser classificado como reto ou pouco tortuoso e além dessas características foram estabelecidas mais duas condições de inclusão. *C* igual ou superior a 4 e 6 árvores de pelo menos um dos grupos de árvores comerciais estudados. Para cada amostragem foram realizadas 30 simulações. As amostras iniciais para a AAC foram aquelas obtidas pela Amostragem Casual Simples (ACS). A intensidade amostral usada foi a partir de 1% da área de estudo, sendo ampliada a cada 1%, tendo como limite a intensidade que adquiriu o erro de no mínimo 10% com 95% de probabilidade para a densidade com a ACS. Somente nas unidades amostrais de 50 x 300 m na intensidade de 6%, e na unidade de 50 x 350 m com a intensidade de 8% foi possível adquirir o erro desejável. Mesmo adquirindo o erro desejável, em todas as estimativas houve subestimação da densidade. De acordo com a precisão e exatidão, a Amostragem Adaptativa em Cluster multivariada não é eficiente para os grupos de árvores comerciais e com baixa densidade da Amazônia. As condições de inclusão estabelecidas não foram eficientes para a amostragem.

Palavras-chave: Procedimentos de amostragem. Amostragem casual simples. Amostragem sistemática

CHAPTER 3
MULTIVARIATE ADAPTIVE CLUSTER SAMPLING FOR GROUPS OF
COMMERCE TREES AND WITH LOW DENSITY OF THE AMAZON

ABSTRACT

The objective of this work was to verify if Adaptive Cluster Sampling is efficient for groups of commercial trees with aggregate and low density spatial patterns. The study was carried out at the Annual Production Units (UPA) 8 and 9, in the Tapajós National Forest (FNT), in the municipality of Belterra, in the state of Pará. Data collection was done by forest census in an area of 2,000 ha. Circumferences were measured at 1.30 m of the soil (CAP) of trees with CAP equal to or greater than 158 cm, stem quality and Cartesian coordinates of six groups of commercial trees with aggregate spatial pattern and low density. The inclusion conditions (C) used in the Adaptive sampling procedure in Multivariate Cluster were that the tree obtained DBH equal to or greater than 50 cm, did not have a bifurcated or conical shaft, the stem was classified as straight or little tortuous and besides these characteristics were conditions for inclusion. C equal to or greater than 4 and 6 trees of at least one of the commercial tree groups studied. For each sampling, 30 simulations were performed. The initial samples for AAC were those obtained by Simple Casual Sampling (ACS). The sample intensity used was from 1% of the study area, and it was enlarged to 1%, with a limit of the intensity that acquired the error of at least 10% with 95% probability for density with ACS. Only the sample units of 50 x 300 m at 6% intensity, and at the 50 x 350 m unit with the intensity of 8%, it was possible to obtain the desired error. Even if we acquired the desirable error, in all estimates there was an underestimation of the density. According to the precision and accuracy, Multivariate Cluster Adaptive Sampling is not efficient for the commercial and low density groups of the Amazon. The inclusion conditions established were not efficient for sampling.

Keywords: Sampling procedures. Simple casual sampling. Systematic sampling.

1 INTRODUÇÃO

Os inventários florestais fornecem subsídios necessários para o planejamento das atividades de exploração e do manejo florestal, como determinar as espécies a explorar, intensidades e ciclos de corte, tratamentos silviculturais a serem conduzidos, projeções de ordem econômica referente à comercialização entre outros (ARAUJO, 2006).

Para a obtenção dos parâmetros de uma floresta é necessária a medição de todos os indivíduos, o que é inviável na maioria das vezes, devido ao tempo necessário e ao alto custo. Dessa forma, realizar estimativas dos parâmetros, utilizando-se de uma amostra da população, torna-se quase sempre, uma opção necessária (UBIALLI *et al.*, 2009). Em contrapartida, o tipo de processo de amostragem usado pode influenciar negativamente nas estimativas quando usado de forma equivocada.

Para os grupos de árvores comerciais que possuem padrão espacial agregado e baixa densidade a busca por um procedimento de amostragem que represente bem essas características é necessária, principalmente se o objetivo do inventário é madeireiro. Se for adotado um processo de amostragem tradicional para a seleção das unidades, provavelmente a amostra não será representativa para este tipo de população e as estimativas do número de árvores desse grupo serão tendenciosas (SMITH; VILLELLA; LIMARIÉ, 2003).

A Amostragem Adaptativa em Cluster (AAC) (THOMPSON, 1990; THOMPSON; SEBER, 1996; BROWN, 2003; SOARES *et al.*, 2009) é uma alternativa para representar de forma eficiente grupos de árvores com padrão espacial agregado e com baixa densidade, principalmente por sua operacionalidade. Esse procedimento considera que sempre que a variável de interesse ou conjunto de variáveis de interesse ocorrem em uma determinada unidade amostral, terá maior probabilidade de ocorrer nas unidades vizinhas, já que o grupo de árvores possui padrão espacial agregado.

A AAC por permitir a inclusão de variáveis de interesse ecológicas e operacionais das espécies no processo de amostragem, se faz de extrema importância para os grupos de árvores comerciais da Amazônia, principalmente no que diz respeito ao planejamento e execução do manejo florestal. Com a AAC pode-se obter informações mais fidedignas sobre a quantificação, volumetria, crescimento, número de árvores, planejar enriquecimento de áreas, obter informações sobre a regeneração natural e monitoramento da floresta, entre outras informações.

Dessa forma, o objetivo do trabalho foi verificar se a Amostragem Adaptativa em Cluster é eficiente para grupos de árvores comerciais com padrão espacial agregado e com baixa densidade.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado em uma área total de 2.000 ha, na Floresta Nacional do Tapajós (FNT). A área é destinada para o manejo florestal da Cooperativa Mista Flona do Tapajós (COOMFLONA), que fica localizada no km 83 da BR 163, município de Belterra, estado do Pará.

A FNT possui uma área de 544.927 hectares, entre as coordenadas geográficas 2°45' e 4°10' "S" e 54°45' e 55°30' "W" (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2004). A FNT situa-se na zona de Floresta Ombrófila Densa, vegetação dominante no norte do país, caracterizado por árvores de grande porte variando de 25 a 50 m de altura (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 1990). O regime de temperaturas é elevado com precipitações distribuídas ao longo do ano. Os solos são do tipo Latossolo Amarelo Distrófico, caracterizados por diferentes texturas, geralmente profundo, ácido, friável e revestido por florestas densas (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2004).

2.2 Coleta de dados

A coleta de dados foi realizada por censo florestal na área de manejo das UPAs 08 e 09, totalizando uma área total de estudo de 2.000 ha na FNT. O censo considerou espécies comercializadas pela COOMFLONA e somente suas respectivas árvores aptas ao comércio. Os critérios usados na FNT para essa classificação englobam a legislação vigente, tendo como base a IN 05/2006 (BRASIL, 2006) e parâmetros estabelecidos pela cooperativa, que visam uma maior qualidade da madeira a ser manejada.

Dessa forma, foi mensurado a circunferência a 1,30 m do solo (*CAP*) das árvores que possuíam *CAP* igual ou superior a 158 cm e qualidade do fuste considerada como reto ou pouco tortuoso. Árvores que possuíam observações que pudessem influenciar o máximo aproveitamento na colheita, como possuir fuste bifurcado ou cônico, não obtiveram a circunferência mensurada, como também as árvores com fuste tortuoso não foram consideradas no inventário.

Além do *CAP*, coletou-se as coordenadas cartesianas das árvores. No censo as UPAs foram divididas em UTs de 100 ha cada (1.000 x 1.000 m), nas quais foram abertas picadas paralelas na direção norte-sul, distantes 50 m entre si. Para registro das coordenadas das árvores em relação aos dois eixos da área, colocou-se em cada picada balizas a cada 25 m,

com a respectiva metragem em relação à origem e para cada árvore verificou-se o número da picada e da distância de cada árvore em relação a picada. Ao final de cada picada, movia-se para a picada seguinte e executava a mesma rotina de trabalho, e assim sucessivamente até completar a última picada de cada UT (GARCIA; LUZ; GAMA, 2015).

2.3 Grupo de árvores mensuradas

O grupo das árvores comerciais mensuradas no censo florestal foi formado pelas espécies *Astronium lecointei* Ducke, *Bagassa guianensis* Aubl., *Couratari guianensis* Aubl., *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier, *Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez e *Vochysia maxima* Ducke. Essas espécies apresentam uma alta frequência de exploração pela região e possuem grande representatividade econômica na área. O grupo de árvores comerciais dessas espécies foi selecionado para o estudo por apresentarem padrão espacial agregado e baixa densidade, conforme detalhado no primeiro capítulo.

2.4 Análise de dados

O procedimento de amostragem Adaptativa em Cluster Multivariada foi testado com valores de condições de inclusão. A condição de inclusão (C) é um valor preestabelecido, determinado pelo pesquisador e servirá como critério de seleção das unidades de amostra (KREBS, 1999). As C testadas foram que a árvore obtivesse DAP igual ou superior a 50 cm, não possuir fuste bifurcado ou cônico, o fuste ser classificado como reto ou pouco tortuoso e além dessas características foram estabelecidas mais duas condições de inclusão. C igual ou superior a 4 e 6 árvores de pelo menos um dos grupos de árvores comerciais estudados nas unidades amostrais. Não foi testada condições menores que 4 árvores para evitar que a área amostrada fosse equivalente ao censo florestal.

Para cada amostragem foram realizadas 30 simulações (COCHRAN, 1977). As amostras iniciais para a AAC foram aquelas obtidas pela Amostragem Casual Simples (ACS), pelo fato desse procedimento captar de forma mais eficiente a exatidão dos grupos de árvores comerciais com padrão espacial agregado e com baixa densidade, entre os procedimentos tradicionais usados na Amazônia (detalhes no Capítulo II). A intensidade amostral usada foi a partir de 1% da área de estudo, sendo ampliada a cada 1% até que o erro de no mínimo 10% com 95% de probabilidade para a densidade fosse atingido (BRASIL, 2007), baseando-se na ACS.

Desse modo, se na unidade amostral inicial (ni) em questão, houver a condição de inclusão, as unidades de amostra adjacentes a ela, isto é, que possuam um lado em comum,

serão aderidas à amostra, até que não haja mais unidades de amostra que satisfaçam esta condição, formando assim, o cluster (THOMPSON; SEBER, 1996). O conjunto das unidades que possuem a condição de inclusão são denominadas de rede, as unidades que fazem parte da amostragem, mas não possuem a condição de inclusão são denominadas de unidades de fronteira ($u.f$) e o cluster é união entre as unidades de rede e as unidades de fronteira (ROESCH, 1993) (Figura 11).

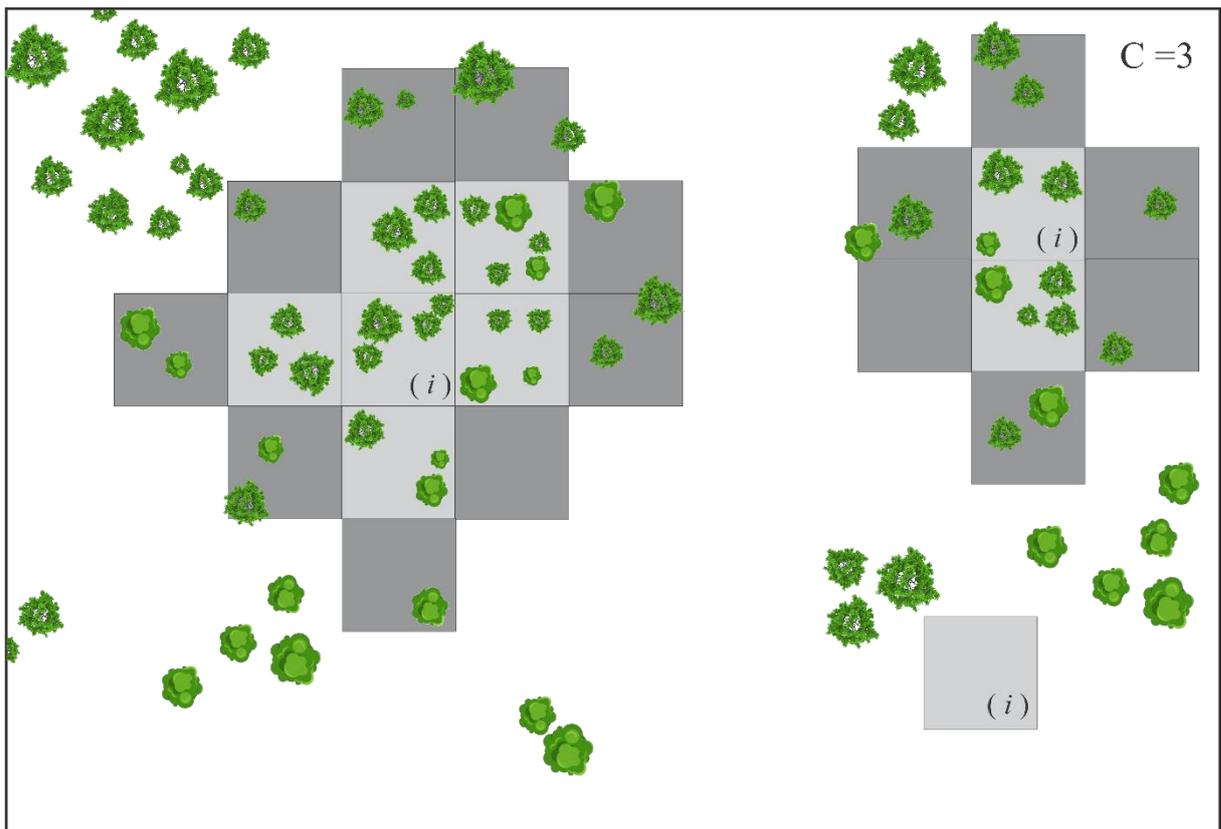


Figura 11. Formação de um cluster com a AAC, a partir da seleção inicial de uma unidade (i) selecionada de forma aleatória. Unidades em cinza formam a rede e as unidades sem a C formam as unidades de fronteira.

Os tamanhos das unidades amostrais testadas foram iguais ou superiores a 2.500 m², levando em consideração estudos já realizados na região (SILVA, 1980; CAVALCANTI; MACHADO; HOSOKAWA, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2014). A largura das unidades de amostra foi fixada em 50 m, por ser a mesma largura utilizada para o censo florestal. O comprimento das unidades de amostra variou de 50 a 400 m, perfazendo uma área de 0,25 a 2,00 ha (CAVALCANTI; MACHADO; HOSOKAWA, 2009).

Para cada tamanho de unidade de amostra juntamente com a intensidade amostral foram realizadas 30 simulações da AAC. Para a AAC para estimar o número de indivíduos

($\bar{Y}_{HH'}$) e o erro padrão da média ($S_{\bar{Y}_{HH'}}$), foi usado os estimadores de Hansen-Hurwitz modificados (THOMPSON, 1990; THOMPSON; SEBER, 1996):

$$\bar{Y}_{HH'} = \left(\frac{1}{n_i} \sum_{i=1}^{n_i} W_i \right) \quad (14)$$

$$S_{\bar{Y}_{HH'}} = \sqrt{\frac{N-n_i}{Nn_i(n_i-1)} \sum_{i=1}^{n_i} (W_i - \bar{Y}_{HH'})^2} \quad (15)$$

em que: W_i é o peso das redes formadas em cada cluster

$$W_i = \frac{\sum_{i=1}^{m_i} y_i}{m_i} \quad (16)$$

em que: N : número de unidades cabíveis na população; n_i : número inicial de unidades da amostra; W_i : média das m_i observações na i -ésima rede; m_i : número de unidades na rede.

Além disso, para todas as amostragens e para cada simulação foram calculados o erro de amostragem em porcentagem (%) e a exatidão (| Exa.% |) para cada simulação:

$$E\% = \frac{S_{\bar{Y}_{HH'}} \cdot t}{\bar{Y}_{HH'}} \times 100 \quad (17)$$

em que: t : valor tabelado de “t” de Student, a 95% de probabilidade.

$$| \text{Exa. \%} | = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(\hat{T}-T)}{T} \cdot 100}{r} \quad (18)$$

em que: \hat{T} : número total estimado de indivíduos; T : número total de indivíduos na população; r : número de simulações.

O processamento e análise dos dados foram realizados no software R Core Team (2017) 3.4.2, por meio da plataforma RStudio.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Padrão espacial

Para os grupos de árvores comerciais de forma conjunta o padrão espacial é totalmente agregado de acordo com a função K de Ripley univariada (mais detalhes sobre a metodologia no Capítulo I). Apesar de isoladamente cada grupo apresentar algumas variações em seu padrão entre agregado e aleatório, de forma conjunta os grupos de árvores comerciais possuem um padrão predominantemente agregado. Reforçando a necessidade da adoção de procedimentos de amostragem que contemplem essa característica de maneira precisa e exata (Figura 12).

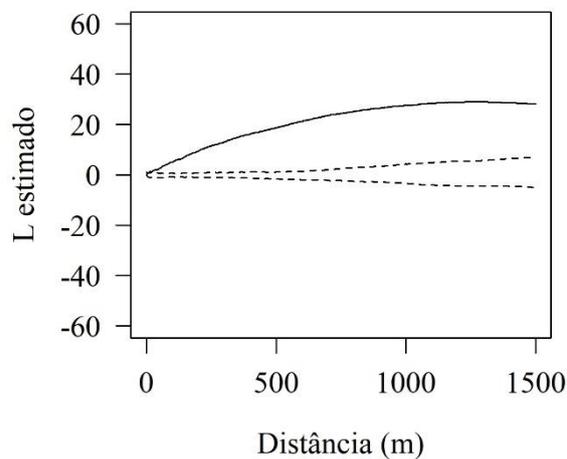


Figura 12. Padrão espacial do grupo de árvores comerciais e com baixa densidade na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra, Pará.

3.2 Procedimento de amostragem

De forma geral, o uso da AAC não foi eficiente para os grupos de árvores comerciais e com baixa densidade nas duas condições de inclusão testadas. As estimativas médias das análises realizadas estão disponíveis no Apêndice B.

Com o uso das condições de inclusão de no mínimo 4 árvores (C4) e 6 árvores (C6) que possuem *DAP* igual ou superior a 50 cm, que não possuem fuste bifurcado ou cônico e que possuem fuste classificado como reto ou pouco tortuoso, não foi possível adquirir o erro de no mínimo 10% para a variável densidade nas unidades amostrais de menor tamanho. O erro só foi adquirido nas unidades amostrais de 50 x 300 m na intensidade inicial de 6% e 50 x 350 m na intensidade amostral inicial de 8% com a C4. Mesmo adquirindo o erro desejável, a intensidade final média entre as simulações com a AAC foi alta, chegando a valores de 36,16% e 49,13% da área, respectivamente. Apesar de adquirir o erro, de forma geral para todas as análises realizadas a exatidão foi subestimada para os grupos de árvores comerciais. A exatidão encontrada foi pior comparada com a encontrada com a ACS nos mesmos tamanhos de unidades amostrais e intensidades (mais detalhes no Capítulo II).

Com o uso da C6 o erro não foi adquirido em nenhuma intensidade amostral nos diferentes tamanhos de unidades amostrais testados e a exatidão foi pior comparada a encontrada com a C4, subestimando as estimativas. Indicando a ineficiência da AAC com essa condição de inclusão. A eficiência da AAC pode ser aumentada em função da escolha da condição de inclusão. Se esse critério for estabelecido com valor muito baixo, o tamanho da amostra final poderá ser muito grande, pois as redes que serão formadas poderão abarcar muitas unidades amostrais. Do contrário, se o valor da condição de inclusão for muito alto, poucas unidades de amostra serão aderidas ao procedimento de amostragem (BROWN, 2003). No presente trabalho a adoção de condições menores que 4 árvores, poderia agravar o alto valor da intensidade amostral final encontrada com as condições testadas, tornando a amostragem inviável. E como foi verificado uma condição de 6 ou mais árvores tornou a amostragem muito restrita.

Nas unidades de menor tamanho, houve simulações onde não ocorreu a formação de nenhum cluster. Apesar dessa característica ir diminuindo com o aumento da unidade amostral, em todos os tamanhos de unidades ocorreu entre as simulações unidades iniciais sem a formação de clusters. Além da condição de inclusão, outro fator que pode ter influenciado nesse resultado é o número de parcelas com zero árvores encontradas nas parcelas iniciais (mais detalhes Capítulo II). De acordo com Thompson e Seber (1996), quanto mais acentuada a baixa densidade da população, o tamanho final da amostra tende a ser o tamanho da amostra inicial, haja vista que existe uma probabilidade grande de amostrar unidades que não tem nenhuma árvore.

Esse fato influenciou a subestimação da exatidão na amostragem, dessa forma, quanto maior o tamanho da unidade amostral, melhor foi a exatidão da amostragem. Como

esperado para populações agregadas, quanto menor o valor de C, maior o tamanho das redes entre os tamanhos de unidades amostrais testados e dessa forma, maior a probabilidade de uma unidade dessa rede ser selecionada na amostra inicial e assim fazer parte da amostra (BRUZINGA, 2012). Característica que foi constatada no presente trabalho.

De forma geral, todas as análises realizadas subestimaram as estimativas e isso pode estar atrelado a ocorrência da não formação de clusters, dessa forma entre as simulações ocorreu redes com valor zero e consequentemente pesos com valor zero, conferindo esse comportamento ao estimador de Hansen-Hurwitz modificado para a média. Esse fato também prejudicou a estimativa da precisão, em uma mesma simulação ocorria a não formação de clusters gerando pesos iguais a zero e também ocorria a formação de cluster com um número de unidades de rede elevado gerando pesos consideráveis.

Para a unidade amostral de 50 x 50 m, a precisão não seguiu uma tendência de diminuir com o aumento da intensidade amostral para os dois valores de condições testadas (Figura 13). Com nenhuma das duas condições testadas foi possível atingir o erro desejável em no mínimo 10%. Nesse caso, a condição de inclusão igual ou superior a 6 árvores se mostrou mais precisa que a condição de 4 árvores nas intensidades amostrais.

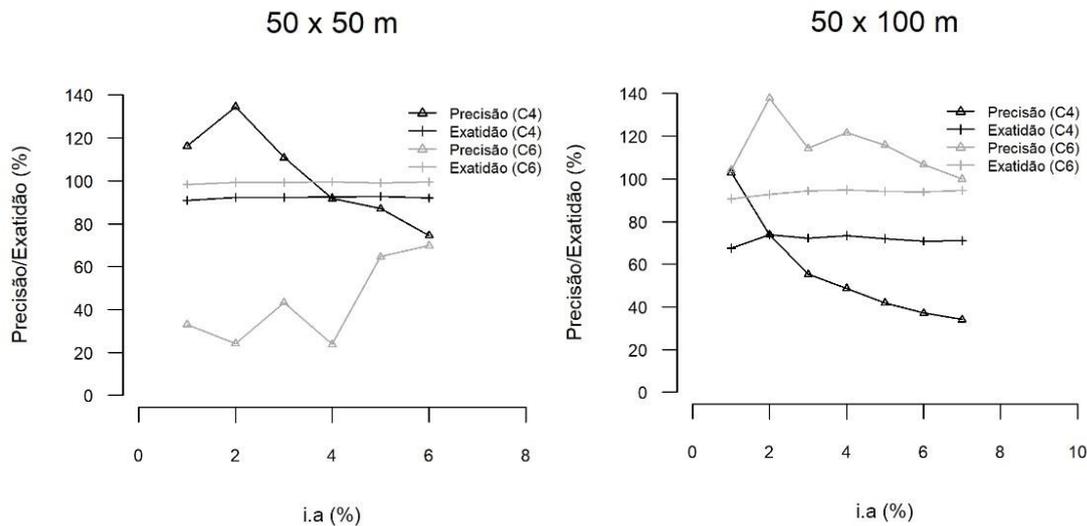


Figura 13 continua...

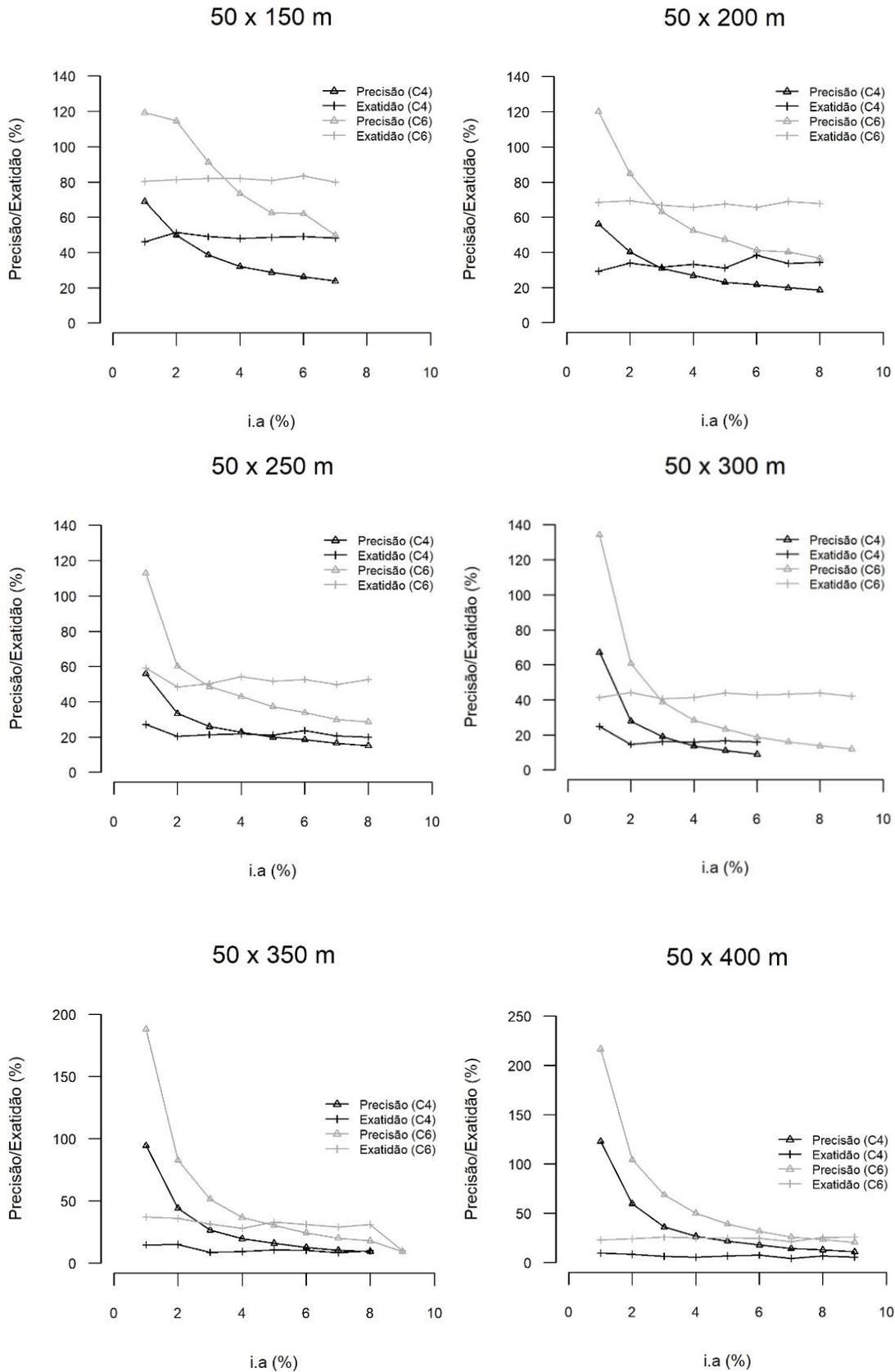


Figura 13. Precisão e exatidão média entre as 30 simulações para a AAC com unidades iniciais com ACS, utilizando a condição de 4 e 6 árvores. Para grupos de árvores comerciais e com baixa densidade, na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra, Pará.

Com a C4 houve variação na precisão entre a intensidade de 1% e 2%. Com essa condição algumas simulações apresentaram a não formação de clusters na área. Isso ocorreu com maior frequência na intensidade de 1%. A não formação de clusters ocorreu em oito simulações na intensidade de 1% e em uma na intensidade de 2%. Com isso o valor de erro médio entre as simulações para a intensidade de 1% foi inferior a intensidade de 2%. Após esse valor, a precisão diminuiu à medida que a intensidade aumentava com a C4.

Com a C6 a precisão foi superior na mesma intensidade quando comparada a C4. Isso ocorreu pelo fato da condição de no mínimo 6 árvores restringir muito a formação de clusters, gerando simulações com nenhum cluster. Dessa forma, com essa condição houve a ocorrência de mais simulações sem a formação de clusters que com o uso da C4. Resultado que também influenciou com que a intensidade amostral final fosse equivalente a inicial (Tabela 7). A não formação de clusters influenciou assim na média entre as simulações da amostragem em precisão para um valor inferior e dessa forma se tornou mais precisa. Com a C6 foram obtidas 25, 27, 23, 26, 29 e 19 simulações sem a formação de clusters, para as intensidades amostrais de 1%, 2%, 3%, 4%, 5% e 6%, respectivamente.

Na unidade amostral de 50 x 100 m, a precisão seguiu a tendência de diminuir com o aumento da intensidade amostral com a C4 (Figura 13), e não houve entre as simulações realizadas a ocorrência de uma simulação com nenhum cluster formado na área. Já com C6 ocorreu variação entre a precisão nas diferentes intensidades amostrais e nesse caso ocorreu simulações com a formação de nenhum cluster. Ocorreram 12, 5, 6, 3, 1, 0 e 1 simulações com a formação de nenhum cluster para as intensidades de 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6% e 7%, respectivamente. A partir da unidade amostral de 50 x 100 m, com o uso da condição de no mínimo 4 árvores houve uma precisão melhor quando comparada a condição de no mínimo 6 árvores.

A partir da unidade amostral de 50 x 150 m, a precisão para as condições C4 e C6, diminuiu com o aumento da intensidade amostral (Figura 13). E apenas com a condição de no mínimo 4 árvores foi possível atingir a precisão desejada com as unidades amostrais de 50 x 300 m na intensidade amostral de 6% e com a unidade amostral de 50 x 350 m e na intensidade de 8%. Para a unidade de 50 x 300 m, com essa intensidade amostral inicial de 6% a intensidade final foi de 36,15% (737,46 ha) da área. Para a unidade de 50 x 350 na intensidade de 8%, com a C4 seria necessário um esforço amostral de 49,13% (997,34 ha) da área de estudo, para atingir a precisão requerida (Tabela 7). Valores extremamente elevados para adquirir precisão, levando em consideração custo, tempo e deslocamento

Tabela 7. Intensidade amostral final média entre as 30 simulações da AAC nas diferentes intensidades amostrais e com diferentes tamanhos de unidades amostrais com as condições de inclusão de o mínimo 4 e 6 árvores, na Floresta Nacional do tapajós, Belterra, Pará. Em que u.a é unidade amostral, C é a condição de inclusão, ni é a intensidade amostral inicial e nf a intensidade amostral final.

u.a	C	ni	Nf	u.a	C	ni	Nf	u.a	C	ni	nf
50 x 50	4	80	80	50 x 200	4	40	98,57	50 x 300	6	68	100,33
50 x 50	4	160	160	50 x 200	4	60	118,13	50 x 300	6	82	141,41
50 x 50	4	240	240	50 x 200	4	80	135,47	50 x 300	6	96	128,09
50 x 50	4	320	320	50 x 200	4	100	157,28	50 x 300	6	109	140,06
50 x 50	4	400	400	50 x 200	4	120	121,07	50 x 300	6	123	155,13
50 x 50	4	480	480	50 x 200	4	140	194,27	50 x 350	4	12	488,77
50 x 50	6	80	80	50 x 200	4	160	212,75	50 x 350	4	24	474,04
50 x 50	6	160	160	50 x 200	6	20	20,49	50 x 350	4	35	528,52
50 x 50	6	240	240	50 x 200	6	40	40,41	50 x 350	4	47	539,84
50 x 50	6	320	320	50 x 200	6	60	60,51	50 x 350	4	58	534,86
50 x 50	6	400	400	50 x 200	6	80	80,49	50 x 350	4	70	544,69
50 x 50	6	480	480	50 x 200	6	100	100,46	50 x 350	4	82	574,64
50 x 100	4	40	40,21	50 x 200	6	120	120,49	50 x 350	4	93	569,91
50 x 100	4	80	80,13	50 x 200	6	140	140,43	50 x 350	6	12	79,51
50 x 100	4	120	120,15	50 x 200	6	160	160,42	50 x 350	6	24	90,20
50 x 100	4	160	160,14	50 x 250	4	16	222,93	50 x 350	6	35	103,84
50 x 100	4	200	200,16	50 x 250	4	32	225,69	50 x 350	6	47	125,30
50 x 100	4	240	240,16	50 x 250	4	48	269,79	50 x 350	6	58	132,04
50 x 100	4	280	280,16	50 x 250	4	64	280,93	50 x 350	6	70	145,07
50 x 100	6	40	40,02	50 x 250	4	80	296,78	50 x 350	6	82	157,81
50 x 100	6	80	80,01	50 x 250	4	96	311,74	50 x 350	6	93	169,03
50 x 100	6	120	120,01	50 x 250	4	112	335,30	50 x 350	6	105	178,51
50 x 100	6	160	160,01	50 x 250	4	128	347,20	50 x 400	4	11	710,21
50 x 100	6	200	200,01	50 x 250	6	16	23,01	50 x 400	4	21	697,80
50 x 100	6	240	240,01	50 x 250	6	32	42,17	50 x 400	4	31	732,19
50 x 100	6	280	280,01	50 x 250	6	48	58,13	50 x 400	4	41	739,74
50 x 150	4	27	32,86	50 x 250	6	64	72,42	50 x 400	4	51	740,03
50 x 150	4	54	58,49	50 x 250	6	80	89,98	50 x 400	4	62	736,67

Continua...

u.a	C	ni	Nf	u.a	C	ni	Nf	u.a	C	ni	nf
50 x 150	4	81	86,22	50 x 250	6	96	104,74	50 x 400	4	72	776,04
50 x 150	4	108	112,80	50 x 250	6	112	122,04	50 x 400	4	82	761,36
50 x 150	4	134	138,92	50 x 250	6	128	137,51	50 x 400	4	92	783,54
50 x 150	4	161	166,25	50 x 300	4	14	429,32	50 x 400	6	11	194,79
50 x 150	4	188	192,99	50 x 300	4	28	436,86	50 x 400	6	21	193,76
50 x 150	6	27	27,10	50 x 300	4	41	448,70	50 x 400	6	31	207,83
50 x 150	6	54	54,08	50 x 300	4	55	468,54	50 x 400	6	41	208,76
50 x 150	6	81	81,09	50 x 300	4	68	481,42	50 x 400	6	51	220,77
50 x 150	6	108	108,08	50 x 300	4	82	491,73	50 x 400	6	62	236,91
50 x 150	6	134	134,08	50 x 300	6	14	45,25	50 x 400	6	72	248,00
50 x 150	6	161	161,08	50 x 300	6	28	55,80	50 x 400	6	82	253,07
50 x 150	6	188	188,09	50 x 300	6	41	71,79	50 x 400	6	92	257,81
50 x 200	4	20	75,01	50 x 300	6	55	88,49				

De forma geral, a exatidão obteve valores insatisfatórios com as duas condições testadas, também influenciada pela não formação de clusters. Os valores obtidos com a C4 foram melhores para todos os tamanhos de unidades amostrais (Figura 13). As duas condições usadas subestimaram muito a densidade dos grupos de árvores comerciais e com baixa densidade.

Com o aumento da unidade amostral, também se aumentada o número de unidades amostrais nas redes. Com a condição de inclusão de no mínimo 4 árvores houve redes com maior número de unidades que com a C6, obtendo assim, uma maior probabilidade de alguma unidade inicial está inserida na rede, fator que pode ter influenciado na melhor exatidão e no maior valor de intensidade amostral final adquirido para essa condição.

Com a condição de no mínimo 4 árvores o tamanho das redes foi de 2, 10, 100, 325, 587, 741, 748 e 837 unidades amostral e para a condição de no mínimo 6 árvores o tamanho das redes foi de 1, 4, 8, 14, 119, 200, 189, 416 unidades, respectivamente para as unidades amostrais de 50 x 50 m, 50 x 100 m, 50 x 150 m, 50 x 200 m, 50 x 250 m, 50 x 300 m, 50 x 350 m, 50 x 400 m.

Na unidade amostral de 50 x 150 m, para a condição de no mínimo 6 árvores na intensidade de 1% ocorreram cinco simulações sem a formação de clusters. Na unidade amostral de 50 x 200 m, com a C6 na intensidade de 1% ocorreu uma simulação com nenhum

cluster formado na área. Fator que prejudicou a estimativa de uma boa exatidão para o grupo de árvores estudadas.

4 CONCLUSÕES

De acordo com a precisão e exatidão, a Amostragem Adaptativa em Cluster multivariada não é eficiente para os grupos de árvore comerciais e com baixa densidade da Amazônia.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, H.J.B. Inventário florestal a 100% em pequenas áreas sob manejo florestal madeireiro. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 4, p. 447 - 464, 2006.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Norma de Execução nº 1, de 24 de abril de 2007. Altera as normas técnicas para o manejo florestal na Amazônia. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 83, 2 maio 2007. Seção 1, p. 91.

BRASIL. Instrução Normativa 05, de 11 de dezembro de 2006. Dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Planos de Manejo Florestal Sustentável-PMFS nas florestas primitivas e suas formas de sucessão na Amazônia Legal, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 dez, 2006. Seção 1, p. 155.

BROWN, J. A. Designing an efficient adaptive cluster sample. **Environmental and Ecological Statistics**, v. 10, p. 95-105, 2003.

BRUZINGA, J.S. **Avaliação de métodos de amostragem de indivíduos adultos de pequi**. 97 f. 2012. Dissertação (Mestre em Ciência Florestal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG, 2012.

CAVALCANTI, F.J.B.; MACHADO, S.A.; HOSOKAWA, R.T. Tamanho de unidade de amostra e intensidade amostral para espécies comerciais da Amazônia. **Floresta**, v. 39, n. 1, p. 207-214, 2009.

COCHRAN, W. G. *Sampling Techniques*. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 1977. 428p.

GARCIA, J.S.; LUZ, A.S.; GAMA, J.R.V. **Práticas de manejo florestal comunitário**. Santarém: Universidade Federal do Oeste do Pará, 2015. 44p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Projeto zoneamento das potencialidades dos recursos naturais da Amazônia Legal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. 212 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Floresta Nacional do Tapajós – Plano de Manejo**. Brasília: IBAMA, 2004. 580 p.

KREBS, C.J. **Ecological Methodology**. 2 ed. Benjamin/Cummings. 1999. 581p.

OLIVEIRA, M.M.; HIGUCHI, N.; CELES, C.H.; HIGUCHI, F.G. Tamanho e formas de parcelas para inventários florestais de espécies arbóreas na Amazônia central. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 3, p. 645-653, 2014.

R Core team (2017). **R: A Language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: < <https://cran.r-project.org/>>. Acesso em 20 abr. 2017.

ROESCH, F. A. Adaptive cluster sampling for forest inventories. **Forest Science**, v. 39, n. 4, p. 655-669, 1993.

SILVA, J.N.M. **Eficiência de Diversos Tamanhos e Formas de Unidades de Amostras Aplicadas em Inventário Florestal na Região do Baixo Tapajós**. 1980. 83 f. Dissertação (mestrado em Ciências Florestais) - Universidade do Paraná, Curitiba, Paraná, 1980.

SMITH, D.R.; VILLELLA, R.F.; LIMARIÉ, D.P. Applications of adaptive cluster sampling to low-density populations of freshwater mussels. **Environmental and Ecological Statistics**, v. 10, n. 1, p. 7-15, 2003.

SOARES, C.P.B.; RODELLO, C.M.; SOUZA, A.L.; LEITE, H.G.; SOARES, V.P.; SILVA, G.F. Comparação entre procedimentos de amostragem para espécies florestais raras e padrão de distribuição espacial agregado. **Revista Árvore**, v. 33, n. 3, p. 545-553, 2009.

THOMPSON, S.K. Adaptive cluster sampling. **Journal of the American Statistical Association**, v.85, n.412, p. 1050-1059, 1990.

THOMPSON, S.K.; SEBER, G.A.F. **Adaptive sampling**. New York: John Wiley & Sons, 1996. 265 p.

UBIALLI, J.A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S.A.; ARCE, J.E. Comparação de métodos e processos de amostragem para estudos fitossociológicos em uma floresta ecotonal na região norte mato-grossense. **Acta amazonica**, v. 39, n. 2, p. 511-523, 2009.

APÊNDICE B – Tabelas com as estimativas médias para as simulações realizadas com a AAC.

Tabela 1B. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 30 simulações de AAC com unidades iniciais dispostas com a ACS e C = 4. Unidade amostral de 50 x 50 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: $\bar{Y}_{HH'}$, número de árvores por hectare; $S_{\bar{Y}_{HH'}}$, desvio padrão da média; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $|\text{Exa.}\%|$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 80 (1%)			n= 160 (2%)			n= 240 (3%)			n= 320 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
$\bar{Y}_{HH'}$	0,3050	0,0000	0,9000	0,2575	0,0000	0,8000	0,2594	0,0667	0,6333	0,2546	0,1125	0,4125
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,2153	0,0000	0,4420	0,1542	0,0000	0,3233	0,1293	0,0657	0,2068	0,1124	0,0783	0,1441
$\pm E\%$	116,22	0,00	198,05	134,60	0,00	195,51	110,84	64,31	194,02	91,76	67,62	136,94
\hat{T}	610,00	0,00	1.800,00	515,00	0,00	1600,00	518,89	133,33	1.266,67	509,17	225,00	825,00
$ \text{Exa.}\% $	90,90	73,14	100,00	92,31	76,12	100,00	92,26	81,10	98,01	92,40	87,69	96,64
Cont.	n= 400 (5%)			n= 480 (6%)								
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo						
$\bar{Y}_{HH'}$	0,2450	0,0400	0,4000	0,2631	0,1000	0,4417						
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,0992	0,0390	0,1295	0,0928	0,0559	0,1246						
$\pm E\%$	87,05	63,54	191,61	74,63	54,69	110,41						
\hat{T}	490,00	80,00	800,00	526,11	200,00	883,33						
$ \text{Exa.}\% $	92,69	88,06	98,81	92,15	86,82	97,02						

Tabela 2B. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 30 simulações de AAC com unidades iniciais dispostas com a ACS e C = 6. Unidade amostral de 50 x 50 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: $\bar{Y}_{HH'}$ número de árvores por hectare; $S_{\bar{Y}_{HH'}}$ desvio padrão da média; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $| \text{Exa.}\% |$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 80 (1%)			n= 160 (2%)			n= 240 (3%)			n= 320 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo									
$\bar{Y}_{HH'}$	0,0517	0,0000	0,3500	0,0258	0,0000	0,3250	0,0267	0,0000	0,2000	0,0125	0,0000	0,1500
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,0514	0,0000	0,3482	0,0224	0,0000	0,2275	0,0243	0,0000	0,1390	0,0108	0,0000	0,1038
$\pm E\%$	33,01	0,00	198,05	24,16	0,00	195,51	43,37	0,00	194,02	23,81	0,00	192,77
\hat{T}	103,33	0,00	700,00	51,67	0,00	650,00	53,33	0,00	400,00	25,00	0,00	300,00
$ \text{Exa.}\% $	98,46	89,55	100,00	99,23	90,30	100,00	99,20	94,03	100,00	99,63	95,52	100,00
Cont.	n= 400 (5%)			n= 480 (6%)								
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo						
$\bar{Y}_{HH'}$	0,0290	0,0000	0,1300	0,0194	0,0000	0,0583						
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,0246	0,0000	0,0897	0,0189	0,0000	0,0566						
$\pm E\%$	64,67	0,00	191,61	69,85	0,00	190,51						
\hat{T}	58,00	0,00	260,00	38,89	0,00	116,67						
$ \text{Exa.}\% $	99,13	96,12	100,00	99,42	98,26	100,00						

Tabela 3B. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 30 simulações de AAC com unidades iniciais dispostas com a ACS e $C = 4$. Unidade amostral de 50 x 100 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: $\bar{Y}_{HH'}$ número de árvores por hectare; $S_{\bar{Y}_{HH'}}$ desvio padrão da média; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $|\text{Exa.}\%|$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 40 (1%)			n= 80 (2%)			n= 120 (3%)			n= 160 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
$\bar{Y}_{HH'}$	1,0875	0,2000	2,0167	0,8766	0,2000	1,5544	0,9336	0,4825	1,3294	0,8938	0,3984	1,2555
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,4771	0,1990	0,7368	0,3044	0,1391	0,4524	0,2523	0,1907	0,2990	0,2100	0,1463	0,2482
$\pm E\%$	102,95	64,81	201,26	73,94	53,05	138,45	55,34	44,33	78,27	48,64	39,05	72,52
\hat{T}	2.175,06	400,00	4.033,33	1.753,19	400,00	3.108,75	1.867,29	965,00	2.658,89	1.787,67	796,88	2.511,01
$ \text{Exa.}\% $	67,54	39,81	94,03	73,84	53,61	94,03	72,13	60,32	85,60	73,32	62,53	88,11
Cont.	n= 200 (5%)			n= 240 (6%)			n= 280 (7%)					
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo			
$\bar{Y}_{HH'}$	0,9381	0,5373	0,9713	0,6050	1,3527	1,4369	0,9713	0,6050	1,3527			
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,1940	0,1478	0,1648	0,1334	0,1892	0,2140	0,1648	0,1334	0,1892			
$\pm E\%$	41,86	32,61	34,07	27,29	44,42	48,16	34,07	27,29	44,42			
\hat{T}	1.876,26	1.074,67	1.942,69	1.210,00	2.705,32	2.873,89	1.942,69	1.210,00	2.705,32			
$ \text{Exa.}\% $	72,00	54,97	71,01	59,63	81,94	83,06	71,01	59,63	81,94			

Tabela 4B. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 30 simulações de AAC com unidades iniciais dispostas com a ACS e C = 6. Unidade amostral de 50 x 100 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: $\bar{Y}_{HH'}$, número de árvores por hectare; $S_{\bar{Y}_{HH'}}$, desvio padrão da média; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $| \text{Exa.}\% |$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 40 (1%)			n= 80 (2%)			n= 120 (3%)			n= 160 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
$\bar{Y}_{HH'}$	0,3131	0,0000	0,9917	0,2419	0,0000	1,0313	0,1894	0,0000	0,4167	0,1743	0,0000	0,3875
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,2417	0,0000	0,5799	0,1716	0,0000	0,4128	0,1202	0,0000	0,2031	0,1045	0,0000	0,1725
$\pm E\%$	104,16	0,00	201,26	137,85	0,00	197,04	114,36	0,00	195,02	121,62	0,00	193,51
\hat{T}	626,11	0,00	1.983,33	483,75	0,00	2.062,50	378,89	0,00	833,33	348,68	0,00	775,00
$ \text{Exa.}\% $	90,66	70,40	100,00	92,78	69,22	100,00	94,35	87,56	100,00	94,80	88,43	100,00
Cont.	n= 200 (5%)			n= 240 (6%)			n= 280 (7%)					
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
$\bar{Y}_{HH'}$	0,1958	0,0000	0,4700	0,2051	0,0528	0,4938	0,1799	0,0000	0,3589			
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,1035	0,0000	0,1713	0,0988	0,0512	0,1581	0,0844	0,0000	0,1215			
$\pm E\%$	115,93	0,00	192,20	106,74	63,09	190,99	99,95	0,00	189,84			
\hat{T}	391,56	0,00	940,00	410,23	105,56	987,50	359,88	0,00	717,86			
$ \text{Exa.}\% $	94,16	85,97	100,00	93,88	85,26	98,42	94,63	89,29	100,00			

Tabela 5B. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 30 simulações de AAC com unidades iniciais dispostas com a ACS e $C = 4$. Unidade amostral de 50 x 150 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: $\bar{Y}_{HH'}$, número de árvores por hectare; $S_{\bar{Y}_{HH'}}$, desvio padrão da média; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $| \text{Exa.}\% |$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 27 (1%)			n= 54 (2%)			n= 81 (3%)			n= 108 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo									
$\bar{Y}_{HH'}$	1,8097	0,6815	2,9091	1,6318	0,9073	2,3816	1,7101	0,7611	2,6197	1,7485	1,3212	2,3105
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,5771	0,3785	0,6962	0,3878	0,3126	0,4536	0,3213	0,2404	0,3638	0,2788	0,2503	0,3038
$\pm E\%$	68,90	45,76	114,17	49,83	37,32	71,20	38,71	27,63	62,85	32,08	25,36	37,83
\hat{T}	3.637,49	1.369,78	5.847,36	3.279,89	1.823,60	4.787,06	3.437,27	1.529,87	5.265,54	3.514,56	2.655,52	4.644,07
$ \text{Exa.}\% $	46,04	13,26	79,68	51,34	28,99	72,95	49,01	21,89	77,31	47,86	31,11	60,61
Cont.	n= 134 (5%)			n= 161 (6%)			n= 188 (7%)					
	Média	Mínimo	Máximo									
$\bar{Y}_{HH'}$	1,7250	1,3287	2,1866	1,7029	1,2476	2,3865	1,7417	1,4167	2,1921			
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,2480	0,2257	0,2674	0,2233	0,1979	0,2462	0,2086	0,1916	0,2286			
$\pm E\%$	28,72	24,19	33,60	26,27	20,37	31,98	23,81	20,57	27,04			
\hat{T}	3.467,23	2.670,61	4.395,00	3.422,78	2.507,65	4.796,89	3.500,75	2.847,56	4.406,17			
$ \text{Exa.}\% $	48,56	34,80	60,38	49,22	28,84	62,80	48,07	34,64	57,76			

Tabela 6B. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 30 simulações de AAC com unidades iniciais dispostas com a ACS e C = 6. Unidade amostral de 50 x 150 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: $\bar{Y}_{HH'}$, número de árvores por hectare; $S_{\bar{Y}_{HH'}}$, desvio padrão da média; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $| \text{Exa.}\% |$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 27 (1%)			n= 54 (2%)			n= 81 (3%)			n= 108 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo									
$\bar{Y}_{HH'}$	0,6605	0,0000	1,6420	0,6233	0,1481	1,5556	0,6022	0,1070	1,2311	0,6014	0,2284	1,2392
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,4000	0,0000	0,6771	0,2967	0,1466	0,4793	0,2392	0,1054	0,3436	0,2088	0,1281	0,2951
$\pm E\%$	119,32	0,00	204,51	114,58	61,81	198,54	91,27	55,53	195,98	73,49	47,20	111,15
\hat{T}	1.327,65	0,00	3.300,37	1.252,90	297,78	3.126,67	1.210,48	215,06	2.474,59	1.208,83	459,07	2.490,79
$ \text{Exa.}\% $	80,30	51,04	100,00	81,41	53,62	95,58	82,04	63,29	96,81	82,07	63,05	93,19
Cont.	n= 134 (5%)			n= 161 (6%)			n= 188 (7%)					
	Média	Mínimo	Máximo									
$\bar{Y}_{HH'}$	0,6422	0,3844	1,0871	0,5563	0,2319	1,0677	0,6701	0,3688	1,0115			
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,1927	0,1505	0,2529	0,1627	0,1125	0,2182	0,1647	0,1238	0,1978			
$\pm E\%$	62,46	46,01	78,34	62,10	40,36	96,76	49,88	38,40	66,24			
\hat{T}	1.290,89	772,67	2.185,00	1.118,22	466,09	2.146,08	1.346,84	741,28	2.033,16			
$ \text{Exa.}\% $	80,85	67,59	88,54	83,41	68,16	93,09	80,02	69,84	89,00			

Tabela 7B. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 30 simulações de AAC com unidades iniciais dispostas com a ACS e $C = 4$. Unidade amostral de 50 x 200 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: $\bar{Y}_{HH'}$ número de árvores por hectare; $S_{\bar{Y}_{HH'}}$ desvio padrão da média; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $| \text{Exa.}\% |$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 20 (1%)			n= 40 (2%)			n= 60 (3%)			n= 80 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo									
$\bar{Y}_{HH'}$	2,3725	1,0874	3,3653	2,2116	1,4257	3,2796	2,2910	1,3170	3,0915	2,2378	1,6638	3,0036
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,6111	0,5022	0,6515	0,4248	0,3709	0,5169	0,3436	0,2970	0,3643	0,2975	0,2747	0,3312
$\pm E\%$	56,23	39,17	96,66	40,35	26,65	52,63	30,92	22,16	45,13	26,87	20,12	32,87
\hat{T}	4.745,07	2.174,90	6.730,51	4.423,14	2.851,38	6.559,12	4.581,91	2.633,92	6.183,07	4.475,56	3.327,50	6.007,27
$ \text{Exa.}\% $	29,22	0,44	67,54	33,99	2,12	57,45	31,62	7,73	60,69	33,21	10,35	50,34
Cont.	n= 100 (5%)			n= 120 (6%)			n= 140 (7%)			n= 160 (8%)		
	Média	Mínimo	Máximo									
$\bar{Y}_{HH'}$	2,3054	1,8929	2,7953	2,0661	1,7075	2,3739	2,2183	1,8431	2,6697	2,1992	1,6447	2,5810
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,2663	0,2548	0,2759	0,2239	0,2108	0,2468	0,2213	0,2126	0,2344	0,2048	0,1926	0,2185
$\pm E\%$	23,08	19,02	26,71	21,61	19,02	25,14	19,89	16,85	22,81	18,56	16,31	23,12
\hat{T}	4.610,81	3.785,72	5.590,58	4.132,15	3.415,09	4.747,84	4.436,68	3.686,21	5.339,41	4.398,40	3.289,41	5.162,10
$ \text{Exa.}\% $	31,19	16,57	43,51	38,34	29,15	49,04	33,79	20,32	44,99	34,36	22,97	50,91

Tabela 8B. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 30 simulações de AAC com unidades iniciais dispostas com a ACS e $C = 6$. Unidade amostral de 50 x 200 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: $\bar{Y}_{HH'}$ número de árvores por hectare; $S_{\bar{Y}_{HH'}}$ desvio padrão da média; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $| \text{Exa.}\% |$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 20 (1%)			n= 40 (2%)			n= 60 (3%)			n= 80 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo									
$\bar{Y}_{HH'}$	1,0558	0,0000	2,1517	1,0259	0,3750	1,8717	1,1089	0,5700	1,5561	1,1493	0,5101	1,9129
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,5440	0,0000	0,7548	0,3929	0,2597	0,5330	0,3343	0,2443	0,3986	0,2908	0,1978	0,3802
$\pm E\%$	120,04	0,00	208,25	84,80	55,71	140,09	63,22	49,01	85,75	52,43	39,57	77,18
\hat{T}	2.111,52	0,00	4.303,33	2.051,90	750,00	3.743,33	2.217,84	1.140,00	3.112,22	2.298,60	1.020,24	3.825,83
$ \text{Exa.}\% $	68,49	35,78	100,00	69,38	44,14	88,81	66,90	53,56	82,99	65,70	42,91	84,77
Cont.	n= 100 (5%)			n= 120 (6%)			n= 140 (7%)			n= 160 (8%)		
	Média	Mínimo	Máximo									
$\bar{Y}_{HH'}$	1,0908	0,6400	1,5014	1,1520	0,7444	1,6491	1,0406	0,6727	1,3507	1,0773	0,7325	1,3890
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,2532	0,2027	0,2942	0,2359	0,1909	0,2875	0,2080	0,1731	0,2351	0,1963	0,1627	0,2257
$\pm E\%$	47,43	38,08	62,86	41,24	34,52	50,79	40,24	33,40	51,21	36,68	30,96	45,79
\hat{T}	2.181,65	1.280,00	3.002,86	2.304,08	1.488,89	3.298,21	2.081,14	1.345,48	2.701,33	2.154,55	1.465,00	2.777,92
$ \text{Exa.}\% $	67,44	55,19	80,90	65,62	50,78	77,78	68,94	59,69	79,92	67,85	58,54	78,14

Tabela 9B. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 30 simulações de AAC com unidades iniciais dispostas com a ACS e $C = 4$. Unidade amostral de 50 x 250 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: $\bar{Y}_{HH'}$, número de árvores por hectare; $S_{\bar{Y}_{HH'}}$, desvio padrão da média; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $| \text{Exa.}\% |$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 16 (1%)			n= 32 (2%)			n= 48 (3%)			n= 64 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
$\bar{Y}_{HH'}$	2,4835	0,7725	3,8960	2,6779	1,4974	3,4172	2,6774	1,8810	3,8342	2,6180	1,9918	3,3020
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,5891	0,4193	0,6833	0,4207	0,3867	0,4429	0,3365	0,2878	0,3529	0,2938	0,2723	0,3082
$\pm E\%$	55,99	26,75	115,68	33,38	23,18	54,03	25,98	15,10	36,14	22,78	16,48	29,17
\hat{T}	4.966,92	1.544,95	7.792,01	5.355,79	2.994,86	6.834,42	5.354,70	3.762,01	7.668,35	5.236,00	3.983,61	6.603,90
$ \text{Exa.}\% $	27,15	1,15	76,94	20,36	0,60	55,31	21,36	0,38	43,86	21,86	1,45	40,55
Cont.	n= 80 (5%)			n= 96 (6%)			n= 112 (7%)			n= 128 (8%)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
$\bar{Y}_{HH'}$	2,6441	2,0420	3,1807	2,5592	2,1152	3,0524	2,6579	2,1511	3,0769	2,6834	2,1964	3,0699
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,2617	0,2522	0,2670	0,2382	0,2308	0,2448	0,2187	0,2125	0,2241	0,2026	0,1972	0,2088
$\pm E\%$	19,89	15,78	25,55	18,64	15,16	22,16	16,45	13,69	20,01	15,07	12,79	18,67
\hat{T}	5.288,24	4.084,04	6.361,39	5.118,38	4.230,39	6.104,70	5.315,81	4.302,21	6.153,71	5.366,73	4.392,83	6.139,74
$ \text{Exa.}\% $	21,08	5,07	39,05	23,62	8,90	36,87	20,67	8,17	35,80	19,91	8,38	34,45

Tabela 10B. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 30 simulações de AAC com unidades iniciais dispostas com a ACS e C = 6. Unidade amostral de 50 x 250 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: $\bar{Y}_{HH'}$, número de árvores por hectare; $S_{\bar{Y}_{HH'}}$, desvio padrão da média; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $| \text{Exa.}\% |$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 16 (1%)			n= 32 (2%)			n= 48 (3%)			n= 64 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
$\bar{Y}_{HH'}$	1,3682	0,4071	3,0310	1,7263	1,0036	2,7065	1,66524	0,78940	2,45452	1,5322	1,0590	2,0050
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,6253	0,4051	0,7880	0,4857	0,3847	0,5734	0,38677	0,30197	0,43837	0,3244	0,2882	0,3699
$\pm E\%$	112,87	55,42	212,08	60,17	41,45	84,40	48,62	34,47	76,95	42,99	35,58	54,38
\hat{T}	2.736,47	814,29	6.061,90	3.452,58	2.007,14	5.413,07	3.330,47	1.578,81	4.909,03	3.064,33	2.117,92	4.010,06
$ \text{Exa.}\% $	59,16	9,54	87,85	48,48	19,22	70,05	50,30	26,74	76,44	54,27	40,16	68,39
Cont.	n= 80 (5%)			n= 96 (6%)			n= 112 (7%)			n= 128 (8%)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
$\bar{Y}_{HH'}$	1,6172	0,9289	2,3074	1,5894	0,9835	2,2491	1,6781	1,2241	2,1993	1,5837	1,2384	1,9987
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,2944	0,2436	0,3284	0,2658	0,2283	0,2924	0,2493	0,2193	0,2714	0,2274	0,2058	0,2420
$\pm E\%$	37,22	28,33	52,20	33,85	25,81	46,09	29,88	24,18	37,27	28,68	23,92	32,88
\hat{T}	3.234,45	1.857,89	4.614,78	3.178,84	1.966,96	4.498,11	3.356,10	2.448,14	4.398,51	3.167,48	2.476,90	3.997,38
$ \text{Exa.}\% $	51,73	31,13	72,27	52,56	32,87	70,65	49,92	34,36	63,47	52,73	40,35	63,04

Tabela 11B. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 30 simulações de AAC com unidades iniciais dispostas com a ACS e C = 4. Unidade amostral de 50 x 300 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: $\bar{Y}_{HH'}$ número de árvores por hectare; $S_{\bar{Y}_{HH'}}$ desvio padrão da média; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $| \text{Exa.}\% |$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 14 (1%)			n= 28 (2%)			n= 41 (3%)			n= 55 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
$\bar{Y}_{HH'}$	2,8842	1,8091	6,6326	2,8617	2,1161	3,4701	2,7985	2,1988	3,3086	2,8075	2,2775	3,3318
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,8680	0,6072	2,9348	0,3813	0,3270	0,4226	0,2601	0,2347	0,3074	0,1902	0,1649	0,2024
$\pm E\%$	67,21	37,62	97,93	27,91	19,34	40,09	19,05	14,43	24,61	13,76	9,92	17,44
\hat{T}	5.883,69	3.690,48	13.530,52	5.837,92	4.316,82	7.079,02	5.708,98	4.485,60	6.749,61	5.727,21	4.646,05	6.796,95
$ \text{Exa.}\% $	22,80	0,03	98,37	14,66	1,32	36,71	16,30	1,05	34,24	16,04	0,35	31,89
Cont.	n= 68 (5%)			n= 82 (6%)								
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo						
$\bar{Y}_{HH'}$	2,7897	2,3077	3,3765	2,8061	2,3781	3,2039						
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,1528	0,1362	0,1625	0,1255	0,1125	0,1325						
$\pm E\%$	11,08	8,05	13,67	8,95	6,99	11,09						
\hat{T}	5.690,94	4.707,74	6.888,14	5.724,37	4.851,39	6.536,02						
$ \text{Exa.}\% $	16,63	0,98	30,98	16,08	4,18	28,88						

Tabela 12B. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 30 simulações de AAC com unidades iniciais dispostas com a ACS e C = 6. Unidade amostral de 50 x 300 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: $\bar{Y}_{HH'}$, número de árvores por hectare; $S_{\bar{Y}_{HH'}}$, desvio padrão da média; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $| \text{Exa.}\% |$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 14 (1%)			n= 28 (2%)			n= 41 (3%)			n= 55 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
$\bar{Y}_{HH'}$	2,0826	0,3922	4,5868	1,8672	1,1674	2,7046	1,9814	1,1083	2,9575	1,9605	1,0779	2,9602
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	1,2613	0,3454	5,2890	0,5412	0,4301	0,6762	0,3710	0,2495	0,4688	0,2719	0,1758	0,3353
$\pm E\%$	134,30	77,65	249,11	60,76	45,52	75,60	38,93	29,41	47,78	28,44	21,60	33,81
\hat{T}	4.248,58	800,00	9.357,01	3.809,14	2.381,48	5.517,46	4.042,06	2.261,03	6.033,39	3.999,48	2.198,99	6.038,74
$ \text{Exa.}\% $	41,31	6,37	88,27	44,16	19,11	65,09	40,74	11,55	66,85	41,37	11,47	67,76
Cont.	n= 68 (5%)			n= 82 (6%)			n= 96 (7%)			n= 109 (7%)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
$\bar{Y}_{HH'}$	1,8694	1,4052	2,5996	1,9140	1,2413	2,2841	1,8939	1,5869	2,2446	1,8753	1,4204	2,4958
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,2159	0,1846	0,2581	0,1788	0,1397	0,1986	0,1517	0,1317	0,1703	0,1297	0,1080	0,1490
$\pm E\%$	23,39	19,61	27,23	18,71	17,24	22,39	15,96	14,51	18,15	13,81	11,70	15,07
\hat{T}	3.813,56	2.866,63	5.303,24	3.904,72	2.532,37	4.659,76	3.863,52	3.237,32	4.578,90	3.825,63	2.897,63	5.091,50
$ \text{Exa.}\% $	44,09	22,25	57,97	42,75	31,69	62,87	43,36	32,87	52,54	43,91	25,36	57,52
Cont.	n= 123 (9%)											
	Média	Mínimo	Máximo									
$\bar{Y}_{HH'}$	1,9380	1,4657	2,2568									
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,1165	0,1017	0,1301									
$\pm E\%$	11,96	10,69	13,74									
\hat{T}	3.953,61	2.990,10	4.603,89									
$ \text{Exa.}\% $	42,04	32,50	56,16									

Tabela 13B. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 30 simulações de AAC com unidades iniciais dispostas com a ACS e C = 4. Unidade amostral de 50 x 350 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: $\bar{Y}_{HH'}$ número de árvores por hectare; $S_{\bar{Y}_{HH'}}$ desvio padrão da média; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $| \text{Exa.}\% |$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 12 (1%)			n= 24 (2%)			n= 35 (3%)			n= 47 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo									
$\bar{Y}_{HH'}$	3,0036	1,6275	4,0668	2,8820	2,2054	3,6405	3,0882	2,3969	3,5980	3,0512	2,7080	3,6580
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	1,2280	0,8488	1,4354	0,6039	0,4891	0,6755	0,4001	0,3591	0,4484	0,2973	0,2546	0,3208
$\pm E\%$	94,75	45,94	158,61	44,25	27,79	61,53	26,76	20,28	37,04	19,78	14,32	23,41
\hat{T}	6.127,24	3.320,13	8.296,19	5.879,38	4.499,07	7.426,58	6.299,96	4.889,65	7.339,93	6.224,35	5.524,29	7.462,33
$ \text{Exa.}\% $	14,99	0,82	51,32	15,02	1,05	34,04	8,92	0,44	28,31	9,57	0,15	19,01
Cont.	n= 58 (5%)			n= 70 (6%)			n= 82 (7%)			n= 93 (8%)		
	Média	Mínimo	Máximo									
$\bar{Y}_{HH'}$	2,9874	2,5954	3,4465	3,0050	2,6774	3,4403	3,0705	2,7746	3,4203	3,0005	2,6178	3,2380
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,2385	0,2126	0,2596	0,1942	0,1754	0,2129	0,1628	0,1486	0,1716	0,1432	0,1349	0,1508
$\pm E\%$	16,11	12,35	20,03	12,97	10,19	15,86	10,59	8,67	12,30	9,53	8,48	11,43
\hat{T}	6.094,24	5.294,59	7.030,77	6.130,12	5.461,83	7.018,26	6.263,77	5.660,17	6.977,31	6.121,03	5.340,22	6.605,56
$ \text{Exa.}\% $	10,86	0,38	22,38	10,50	2,65	19,93	8,38	0,57	17,02	10,26	3,16	21,71

Tabela 14B. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 30 simulações de AAC com unidades iniciais dispostas com a ACS e C = 6. Unidade amostral de 50 x 350 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: $\bar{Y}_{HH'}$, número de árvores por hectare; $S_{\bar{Y}_{HH'}}$, desvio padrão da média; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $| \text{Exa.}\% |$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 12 (1%)			n= 24 (2%)			n= 35 (3%)			n= 47 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
$\bar{Y}_{HH'}$	2,1018	1,2088	3,1265	2,1317	1,2523	3,2107	2,2897	1,6156	3,0801	2,4007	2,0299	2,9804
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	1,7320	1,1496	2,1645	0,8315	0,6527	0,9573	0,5708	0,4904	0,6627	0,4346	0,4017	0,4736
$\pm E\%$	188,15	130,59	249,66	83,02	60,23	107,82	51,58	39,72	64,59	36,78	29,38	41,18
\hat{T}	4.287,57	2.465,99	6.378,04	4.348,59	2.554,72	6.549,83	4.671,03	3.295,83	6.283,36	4.897,42	4.140,91	6.079,99
$ \text{Exa.}\% $	37,14	6,49	63,85	36,25	3,98	62,55	31,52	7,88	51,68	28,20	10,86	39,29
Cont.	n= 58 (5%)			n= 70 (6%)			n= 82 (7%)			n= 93 (8%)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
$\bar{Y}_{HH'}$	2,2380	1,4648	2,6577	2,2970	1,9927	2,7796	2,3678	1,8733	2,8865	2,2981	1,8768	2,7211
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,3394	0,2644	0,3750	0,2823	0,2600	0,3093	0,2396	0,2185	0,2571	0,2081	0,1871	0,2236
$\pm E\%$	30,64	26,94	36,15	24,64	21,99	28,17	20,25	17,64	23,20	18,09	16,03	20,73
\hat{T}	4.565,59	2.988,17	5.421,63	4.685,94	4.065,15	5.670,46	4.830,39	3.821,50	5.888,39	4.688,13	3.828,62	5.551,12
$ \text{Exa.}\% $	33,07	20,52	56,19	31,30	16,87	40,40	29,18	13,67	43,97	31,27	18,62	43,87
Cont.	n= 105 (9%)											
	Média	Mínimo	Máximo									
$\bar{Y}_{HH'}$	2,2883	1,8528	2,7171									
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,1798	0,1587	0,1904									
$\pm E\%$	15,66	13,88	17,89									
\hat{T}	4.668,15	3.779,61	5.542,92									
$ \text{Exa.}\% $	31,56	18,74	44,59									

Tabela 15B. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 30 simulações de AAC com unidades iniciais dispostas com a ACS e C = 4. Unidade amostral de 50 x 400 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: $\bar{Y}_{HH'}$, número de árvores por hectare; $S_{\bar{Y}_{HH'}}$, desvio padrão da média; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $| \text{Exa.}\% |$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 11 (1%)			n= 21 (2%)			n= 31 (3%)			n= 41 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo									
$\bar{Y}_{HH'}$	3,1913	2,0697	3,7945	3,0982	2,5297	3,6138	3,2112	2,4481	3,6721	3,2040	2,8456	3,5169
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	1,7189	1,4243	1,8951	0,8759	0,7674	0,9401	0,5655	0,4939	0,6198	0,4224	0,3876	0,4524
$\pm E\%$	123,12	83,64	197,68	59,75	44,30	77,52	36,35	27,47	51,71	26,82	22,40	31,87
\hat{T}	6.510,17	4.222,25	7.740,79	6.320,32	5.160,53	7.372,18	6.550,77	4.994,06	7.491,09	6.536,15	5.804,97	7.174,39
$ \text{Exa.}\% $	9,70	1,01	38,10	8,56	0,83	24,34	6,53	1,16	26,78	5,61	0,35	14,90
Cont.	n= 51 (5%)			n= 62 (6%)			n= 72 (7%)			n= 82 (8%)		
	Média	Mínimo	Máximo									
$\bar{Y}_{HH'}$	3,1440	2,8273	3,4969	3,0930	2,8562	3,4273	3,2183	2,8852	3,4783	3,1192	2,7647	3,4548
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,3405	0,3094	0,3597	0,2782	0,2584	0,2900	0,2307	0,2160	0,2444	0,2038	0,1870	0,2146
$\pm E\%$	21,85	17,87	25,55	18,04	15,07	20,16	14,34	12,38	16,89	13,04	10,77	15,44
\hat{T}	6.413,83	5.767,65	7.133,67	6.309,80	5.826,70	6.991,68	6.565,34	5.885,87	7.095,72	6.363,15	5.640,08	7.047,78
$ \text{Exa.}\% $	6,71	0,13	15,44	7,66	0,34	14,58	4,44	0,48	13,71	6,96	0,35	17,31
Cont.	n= 92 (9%)											
	Média	Mínimo	Máximo									
$\bar{Y}_{HH'}$	3,1659	2,8785	3,4813									
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,1783	0,1622	0,1872									
$\pm E\%$	11,22	9,25	12,92									
\hat{T}	6.458,41	5.872,11	7.101,80									
$ \text{Exa.}\% $	5,75	1,32	13,91									

Tabela 16B. Estimativas médias, mínimas e máximas para as 30 simulações de AAC com unidades iniciais dispostas com a ACS e C = 6. Unidade amostral de 50 x 400 m, em diferentes intensidades amostrais testadas, na FNT, Belterra, Pará. Em que: $\bar{Y}_{HH'}$, número de árvores por hectare; $S_{\bar{Y}_{HH'}}$, desvio padrão da média; $\pm E\%$ o erro de amostragem; \hat{T} o total estimado e $| \text{Exa.}\% |$ a exatidão em módulo.

Estimativas	n= 11 (1%)			n= 21 (2%)			n= 31 (3%)			n= 41 (4%)		
	Média	Mínimo	Máximo									
$\bar{Y}_{HH'}$	2,6613	0,7667	3,7260	2,5294	1,0414	3,3645	2,4864	1,5536	3,4441	2,4984	1,9613	3,2267
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	2,4308	1,1199	2,8992	1,2395	0,7498	1,3926	0,8202	0,6525	0,9121	0,6156	0,5431	0,6814
$\pm E\%$	216,78	152,43	325,47	104,68	78,46	150,20	68,92	50,86	88,01	50,36	41,87	58,68
\hat{T}	5.428,98	1.564,04	7.601,12	5.159,90	2.124,38	6.863,68	5.072,26	3.169,36	7.026,00	5.096,70	4.001,10	6.582,48
$ \text{Exa.}\% $	23,05	0,80	77,07	24,39	0,63	68,86	25,84	2,41	53,54	25,28	3,50	41,34
Cont.	n= 51 (5%)			n= 62 (6%)			n= 72 (7%)			n= 82 (8%)		
	Média	Mínimo	Máximo									
$\bar{Y}_{HH'}$	2,5036	1,7120	3,4626	2,5137	2,0137	2,8775	2,6264	2,1244	3,0192	2,4916	2,0173	2,9882
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,4847	0,4013	0,5105	0,3995	0,3626	0,4247	0,3412	0,3056	0,3622	0,2932	0,2647	0,3164
$\pm E\%$	39,38	28,35	47,08	32,02	27,60	36,44	26,04	23,11	29,66	23,58	19,74	26,13
\hat{T}	5.107,35	3.492,57	7.063,70	5.127,90	4.107,87	5.870,17	5.357,88	4.333,80	6.159,12	5.082,95	4.115,21	6.095,98
$ \text{Exa.}\% $	25,36	3,56	48,80	24,82	13,94	39,78	21,45	9,70	36,46	25,48	10,63	39,67
Cont.	n= 92 (9%)											
	Média	Mínimo	Máximo									
$\bar{Y}_{HH'}$	2,4706	2,2135	2,7974									
$S_{\bar{Y}_{HH'}}$	0,2564	0,2375	0,2735									
$\pm E\%$	20,67	18,53	22,43									
\hat{T}	5.040,01	4.515,46	5.706,75									
$ \text{Exa.}\% $	26,11	16,34	33,80									

3 CONCLUSÕES GERAIS

A densidade dos grupos de árvores comerciais estudados foi relativamente baixa, influenciada pelos critérios usados para a classificação das árvores como aptas ao comércio.

O padrão espacial dos grupos de árvores comerciais variou entre aleatório e agregado, nenhum grupo apresentou padrão regular. As árvores de interesse de *Astronium lecointei* Ducke, *Bagassa guianensis* Aubl., *Couratari guianensis* Aubl., *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier, *Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez e *Vochysia maxima* Ducke. obtiveram padrão agregado em uma distância superior a 50% na análise univariada.

Entre as associações interespecíficas estudadas, a maioria das associações foi de independência espacial, houve algumas associações de atração e apenas uma de repulsão. De forma geral, não ocorre competição entre os grupos de árvores comerciais analisados. Resultado positivo, já que se trata de grupos de árvores de alto interesse econômico e fortemente exploradas na região.

Entre os procedimentos de amostragem casual simples (ACS) e amostragem sistemática (AS), em relação a precisão a AS foi o procedimento que requereu menor esforço amostral para atingir o erro desejável de no mínimo 10% para a variável densidade. Já em relação a exatidão a ACS demonstrou captar de forma mais eficiente o padrão espacial agregado dos grupos de árvores comerciais e com baixa densidade. Considerando que a variável de interesse em inventários florestais é a exatidão, a ACS é o procedimento mais indicado para a amostragem dos grupos de árvores estudados.

De acordo com a precisão e exatidão, a Amostragem Adaptativa em Cluster multivariada não é eficiente para os grupos de árvore comerciais e com baixa densidade da Amazônia.