

## **PROGNOSE DA ESTRUTURA DIAMÉTRICA DE *Eschweilera grandiflora* (Aubl.) SANDWICH, SOB O EFEITO DE EXPLORAÇÃO DE IMPACTO REDUZIDO, PARAGOMINAS, PARÁ**

Antonio Ernandes da Silva Nascimento  
Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)

Cíntia Oliveira Siqueira  
Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)

Luciana Maria de Barros Francez  
Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)

Fábio de Jesus Batista  
Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)

Ademir Roberto Ruschel  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)

# RESUMO

O objetivo desse trabalho foi avaliar a precisão da prognose da distribuição diamétrica para *Eschweilera grandiflora* (Aubl.) Sandwith em floresta de terra firme explorada em Paragominas, Pará. Em 2003 foram instaladas 12 parcelas permanentes no tamanho de 50 x 50m para cada tratamento, floresta não explorada (T0) e floresta explorada (T1), totalizando 24 parcelas, onde todos os indivíduos com DAP > 10cm, categorizados como "árvore" foram mensurados. Foram realizadas medições nos anos de 2003, 2007 e 2011. A matriz de transição foi construída com os dados referente ao período de 2003 a 2007, com a prognose feita para o ano de 2011. As probabilidades de transição para as oito classes diamétricas (12,5, 17,5, 22,5, 27,5, 32,5, 37,5, 42,5, > 45cm) bem como a mortalidade, foram alcançadas a partir da razão do número de árvores que permanecem na mesma classe de diâmetro, mudam de classe ou morrem, pelo número de árvores naquela classe no início do período de crescimento sendo o ingresso determinado pela contagem do número de indivíduos recrutados na primeira classe de tamanho (10-15cm) no período de 2003 a 2007. Foram avaliados a dinâmica da distribuição diamétrica e a prognose da estrutura diamétrica com o uso da cadeia probabilística de Markov. T0 demonstrou equilíbrio para as três medições (2003: 18,67 ind.ha<sup>-1</sup>; 2007: 18,33 ind.ha<sup>-1</sup>; 2011: 18,67 ind.ha<sup>-1</sup>), enquanto T1 mostrou uma ligeira diminuição no número de indivíduos entre as medições de 2003 (17,00 ind.ha<sup>-1</sup>) e 2007 (16,67 ind.ha<sup>-1</sup>) seguido de um aumento em 2011 (17,33 ind.ha<sup>-1</sup>). Tanto em T0 quanto em T1 a mortalidade foi superior ao recrutamento, com maiores valores para a área explorada. Independentemente do tratamento as árvores apresentaram maior probabilidade de permanecerem na mesma classe diamétrica. A mortalidade ocorreu em maior probabilidade nas menores classes de diâmetro (12,5 e 22,5cm). No entanto, T0 apresentou mortalidade na classe de 37,5cm, provavelmente ocasionada de forma natural. O número de indivíduos por classe diamétrica estimados para o ano de 2011 foram semelhantes aos observados em campo ao considerar a área não explorada (T0) e diferentes para a área explorada (T1), de acordo com o teste Qui-quadrado a 5% de probabilidade. A distribuição diamétrica apresentou

comportamento semelhante entre os diferentes anos de avaliação para os dois tratamentos realizados na área. No entanto, a frequência dos indivíduos se mostrou mais dinâmica na área explorada. A cadeia probabilística de Markov se mostrou eficiente para a projeção na área não explorada, demonstrando a necessidade de aguardar um período para o equilíbrio entre o recrutamento e mortalidade em áreas manejadas.

**Palavras-chave:** Predição, Distribuição Diamétrica, Matriz de Transição, Amazônia.

## INTRODUÇÃO

Por ser detentora de uma gama de recursos naturais, aliadas as políticas difundidas durante o regime militar, muitas pessoas foram atraídas para Amazônia, especialmente aquelas que buscavam recursos minerais e madeireiros. Neste período o país foi elevado ao posto de maior produtor de madeira do mundo. Entretanto, a atividade madeireira, praticada sem planejamento, desconsiderando os impactos ocasionados pela exploração à comunidade arbórea remanescente, pode dificultar a capacidade de resiliência da floresta (Hummel *et al.*, 2010; Oimt, 2006; Veríssimo *et al.*, 2006).

Holmes *et al.* (2004) afirmaram que países em desenvolvimento tendem a utilizar práticas convencionais de exploração nas florestas tropicais, ocasionando altas taxas de devastação e diminuição da fauna e flora diretamente afetada por essa atividade. Nutto (2001), afirmou que a partir do momento em que os recursos começaram a ficar escassos, restrições foram aplicadas para combater o uso desenfreado dos mesmos, o que por vezes não é bem aceito por parte da população, que tem este recurso como matéria prima e sustento da família.

Nas décadas de 1960 e 1970 o governo militar propôs a ocupação da região amazônica à empresários de várias regiões do país, apoiada em inúmeras vantagens e incentivos fiscais com o objetivo de atrair capital e empreendedores para a região a fim de proporcionar o desenvolvimento e ocupação da mesma. Tais incentivos estavam voltados para atividades agropecuárias, de mineração e madeireira, que praticadas de forma convencional e sem o mínimo planejamento e aporte técnico, promoviam a destruição da floresta (Loureiro; Pinto, 2005).

A demanda por madeira, como uma das principais fontes de matéria prima da região, para a geração de emprego e renda, deu-se expressivamente a partir de 1970, tendo como alvo as espécies de alto valor comercial. Com o uso de práticas extremamente predatórias, estas espécies rapidamente tornaram-se escassas, sofrendo então, restrições quanto a exploração por parte dos órgãos ambientais (Loureiro; Pinto, 2005). Como exemplo, cita-se *Eschweilera grandiflora* (Aubl.) Sandwith árvore de grande porte, que pode alcançar até 37 metros de altura, com sapopemas em sua base, fuste reto e cilíndrico, casca fibrosa, fina e persistente tendo o ápice dos ramos novos coloração marrom acinzentado, subglabros (Oliveira *et al.*, 2015).

O conhecimento da dinâmica florestal por meio do uso de parcelas permanentes e realização do inventário florestal contínuo, em áreas de florestas não exploradas e exploradas, constitui um importante instrumento para a avaliação das melhores práticas de manejo (Cunha *et al.*, 2002; Sanquetta *et al.*, 2009). Os dados coletados nestas parcelas auxiliarão estudos relativos ao crescimento, ingresso e mortalidade das espécies constituintes da comunidade florestal (Sheil; May, 1996).

Pulz *et al.* (1999), ressaltaram que a modelagem do crescimento, é de suma importância para dar suporte ao planejamento florestal. Esses modelos podem ser classificados em: povoamento total, de árvores individuais e de distribuição diamétrica (Reis *et al.*, 2018).

Nos modelos de povoamento total, a estimativa de crescimento ou produção é realizada sem levar em consideração os parâmetros relativos ao tamanho das árvores, enquanto nos modelos de árvores individuais os dados precisam de um maior detalhamento, uma vez que cada indivíduo apresenta características distintas entre si. A variável mais utilizada é o diâmetro, no entanto outras variáveis também podem ser utilizadas, tais como localização, altura e classe da copa de cada árvore (Azevedo; Souza; Jesus, 1995).

Em florestas tropicais os modelos de distribuição diamétrica, como a razão de movimentos e matrizes de transição, são mais utilizados por permitirem o uso de variáveis de fácil obtenção como o diâmetro das árvores. A razão de movimentos avalia a proporção de árvores que avançam ao lado direito das classes de diâmetro. Esta metodologia assume que o incremento médio do diâmetro bem como sua distribuição sejam uniformes dentro de suas classes. Por outro lado, a cadeia de Markov considera a probabilidade de uma árvore passar de uma classe diamétrica para outra em um dado período de tempo, isto é, objetivam prognosticar a densidade (árvores.ha<sup>-1</sup>), por classe de diâmetro, tendo como base as taxas de ingresso, crescimento e mortalidade do povoamento (Ebling *et al.*, 2014; Batista, 2014; Lana *et al.*, 2015b; Scolforo; Pulz; Melo, 1998; Sanquetta *et al.*, 1996).

Nesse contexto é inegável a importância de estudos que realizem o monitoramento do desenvolvimento florestal, assim como os trabalhos de Teixeira *et al.* (2007) e Vasconcelos; Higuchi; Oliveira (2009) que utilizam a cadeia de Markov para estes estudos, a fim de auxiliar a administração dos recursos

disponíveis, contribuindo para a aplicação de medidas de intervenção adequadas a realidade de um determinado sítio florestal, procurando reduzir impactos sobre estes recursos, aumentar a produção e garantir a mesma a gerações futuras (Souza; Soares, 2013). Este trabalho teve como objetivo avaliar a prognose da distribuição diamétrica para *Eschweilera grandiflora* (Aubl.) Sandwith com o uso da cadeia de Markov em uma floresta de terra firme submetida a exploração de impacto reduzido em Paragominas, Pará, a fim de indicar um método de predição com variável de fácil obtenção.

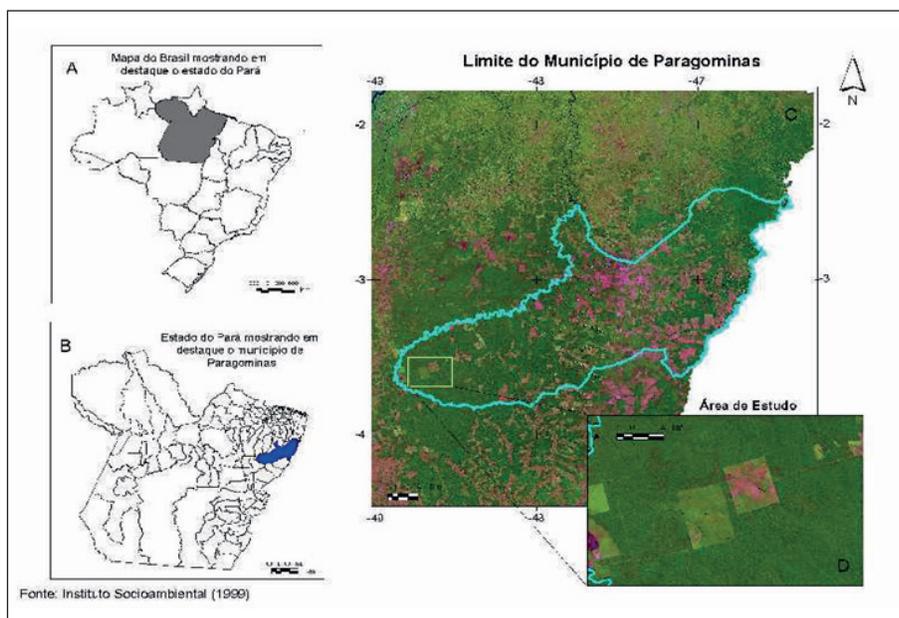
## **MÉTODOS**

### **Caracterização da área de estudo**

O estudo foi realizado na Fazenda Rio Capim (Figura 1), que possui uma área de 140.658ha, localizada no município de Paragominas, distante cerca de 320km de Belém, pertencente a Cikel Brasil Verde Madeiras Ltda. (Francez, 2006).

A pesquisa foi realizada na Unidade de Trabalho nº 2 (UT 02), com 108 hectares, na Unidade de Produção Anual nº 7 (UPA 07) do Plano de Manejo Florestal da Fazenda Rio Capim.

**Figura 1** - Localização da área de estudo (Fazenda Rio Capim) no município de Paragominas, PA.



**Legenda:** A - Mapa do Brasil destacando o Estado do Pará; B - Estado do Pará destacando o município de Paragominas; C - Limite do município de Paragominas; D - Área de estudo.

O clima predominante no município é do tipo Awi, quente e úmido, de acordo com a classificação de Köpen caracterizado como clima tropical chuvoso, com maior concentração de chuva de janeiro a junho, seguido de expressivo período de estiagem nos meses de julho a outubro. A temperatura média anual é de 27,2°C, com umidade relativa do ar média de 81%. O regime pluviométrico anual fica em torno de 2.250mm e 2.500mm (Bastos *et al.*, 2005; Pará, 2011; Watrin; Rocha, 1992).

O município apresenta formações do Itapecuru e Cretáceo, com arenitos, predominantemente vermelhos, finos, caulínicos, argilitos vermelhos laminados e calcário margoso fossilífero. O relevo apresenta tabuleiros com níveis medianos de elevação e aplainados, formas colinosas dissecadas, baixos tabuleiros, terraços e várzea, com níveis altimétricos de aproximadamente 40m (Pará, 2011).

Paragominas é banhado por duas bacias além de diversos rios que cortam o município. As duas principais bacias são: a do rio Capim situada a Sudeste-Nordeste o qual se ramifica por 54% do município com rios de menores proporções como o Cauaxi, Candiru-Açu e Potiritá; e a bacia do rio Gurupi

ocupando 46% do município com os rios Piriá e Uraim (Pará, 2011; Pinto *et al.*, 2009; Rodrigues *et al.*, 2003).

Os solos predominantes são do tipo latossolo amarelo distrófico, cobrindo 95% do território municipal. Segundo Watrin; Rocha (1992), são solos profundos, com drenagem boa, mais quimicamente pobres em nutrientes. Além destes são encontrados Concrecionários Lateríticos e Areias Quartzosas (Pinto *et al.*, 2009; Pará, 2011).

A vegetação originária do município era representada por floresta densa da sub-região de altos platôs do Pará-Maranhão, pela floresta densa de planície aluvial e dos ferraços. Entretanto, os constantes desmatamentos, provocados pelo avanço da agropecuária na região e demais atividades de agricultura em grandes áreas, reduziram, drasticamente, áreas cobertas pela floresta original, dominadas, hoje, por extensas áreas de floresta secundária (capoeiras nos seus diversos estágios de desenvolvimento) (Lemos; Bispo, 2015; Pará, 2011).

## **Amostragem e registro dos dados**

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, onde foram estabelecidos dois tratamentos: T0 - para o monitoramento da floresta não-explorada e T1 - para o monitoramento da floresta explorada sob o regime de impacto reduzido.

A fim de monitorar a vegetação, em 2003 foram instaladas 12 parcelas permanentes no tamanho de 50 x 50m, para cada tratamento, totalizando 24 parcelas, segundo metodologia de Silva *et al.* (2005).

A exploração florestal foi realizada no ano de 2003 em toda a área da Unidade de trabalho 02 (UT 02)/Unidade de Produção Anual 07 (UPA 07), com exceção das amostras-testemunhas, de acordo com as normas definidas no plano de manejo da empresa CIKEL Brasil Verde Madeiras Ltda. Foram exploradas, em média, 4,33 árvores.ha<sup>-1</sup> de 17 espécies comerciais.

Todos os indivíduos com DAP > 10cm, que em Silva *et al.* (2005) são categorizados como "árvore" foram mesurados. Nas árvores com fuste normal e sem sapopemas, o diâmetro foi medido a 1,30m do solo. Nas árvores com sapopemas, nós, calosidades, podridão, danos ou qualquer deformação a 1,30m, a medição foi feita em outra posição no fuste, sem influência dessas irregularidades.

O registro das árvores foi realizado em fichas de campo, para a medição de parcelas permanentes (Silva *et al.*, 2005). Foram realizadas seis medições para os seguintes anos de (2003, 2004, 2005, 2007, 2008, 2011). No entanto, para o estudo serão utilizadas as medições referentes aos anos de (2003, 2007 e 2011).

A identificação das espécies foi realizada pelo nome vulgar por paratômicos da Embrapa Amazônia Oriental e da empresa CIKEL Brasil Verde Madeiras Ltda. Para as espécies menos comuns e que suscitaram dúvidas foi coletado material botânico para identificação no Herbário IAN da Embrapa Amazônia Oriental.

### **Análise de dados**

Foram avaliadas a distribuição diamétrica dos indivíduos de *Eschweilera grandiflora* (Aubl.) Sandwith para os anos de 2003, 2007 e 2011 considerando um intervalo entre classes de 5cm.

Em seguida foi feita a matriz de transição de acordo com a metodologia de Buongiorno; Michie (1980) *apud* Francez (2019), com os dados referente ao período de 2003 a 2007, com a prognose feita para o ano de 2011. Os diâmetros foram agrupados em classes de 5cm a partir de um diâmetro mínimo de 10cm, sendo criadas 8 classes diamétricas (10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-45, > 45 cm). A frequência dos indivíduos ao longo das classes diamétricas foi a principal variável para a realização da cadeia de Markov.

As probabilidades de transição e de mortalidade foram alcançadas a partir da razão do número de árvores que permanecem na mesma classe de diâmetro, mudam de classe ou morrem, pelo número de árvores naquela classe no início do período de crescimento (Teixeira *et al.*, 2007). A projeção do número de árvores de cada classe resulta da multiplicação do número de árvores no tempo  $t$  com a probabilidade de transição  $G$  somado ao número de indivíduos ingressantes no período  $\theta$  conforme descrito por Buongiorno; Michie (1980) *apud* Francez (2019).

O ingresso foi determinado pela contagem do número de indivíduos recrutados na primeira classe de tamanho (10-15cm) no período de 2003 a 2007, sendo considerado constante para a realização da prognose. Este procedimento foi adotado devido ao ingresso ser de difícil modelagem e pelo mesmo não ser

projetado por meio da cadeia de Markov. Somado a isso desconsiderá-lo pode ocasionar predição tendenciosa (Zhang *et al.*, 2012; Batista, 2014).

O sistema foi composto por 10 estados de espaço: a1 (recrutamento - R), a2 a a9 (classes diamétricas) e a10 (mortalidade - M). Para cada matriz de probabilidade foi feita uma tabela com a frequência absoluta das transições entre os estados.

A precisão da prognose foi avaliada por meio da comparação da estrutura diamétrica observada e estimada pela cadeia probabilística de Markov, para os anos de 2007 e 2011. Para tanto, foi empregado o teste de Qui-quadrado a 5% de probabilidade, permitindo avaliar a concordância entre as duas distribuições (observada e projetada). As análises foram realizadas com o auxílio do software Microsoft Office Excel 2016.

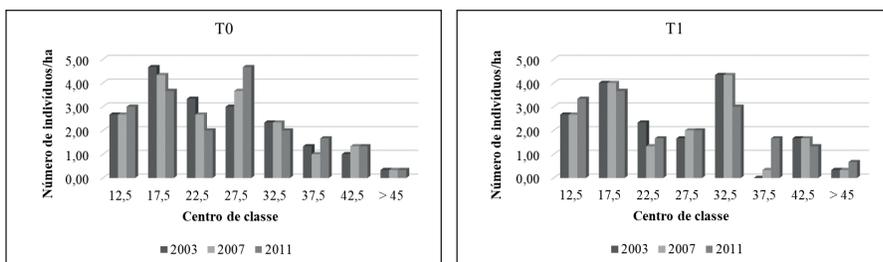
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Dinâmica da distribuição diamétrica

Ao considerar os tratamentos T0 e T1 foi observado um maior número de indivíduos nas classes inferiores e médias de diâmetro, comportamento bem característico de grande parte das espécies de florestas nativas da Amazônia. Cruz *et al.* (2021) em uma floresta de terra firme, no município de Moju, PA verificaram que as espécies *Eschweilera coriacea*, *Eschweilera ovata* e *Lecythis idatimon*, pertencentes a família Lecythidaceae apresentaram cerca de 33%, 30% e 44% dos indivíduos amostrados, em classes diamétricas de 10cm e que a distribuição destas espécies seguiu o padrão de *J*-invertido. Esta distribuição é comum às espécies pertencentes a florestas inequidâneas (Assmann, 1970; Reis *et al.*, 2016), mostrando capacidade para recuperação devido ao estoque representativo de indivíduos jovens (Machado *et al.*, 2009).

A distribuição diamétrica apresentou comportamento semelhante entre os dois tratamentos realizados na área, mesmo após a exploração florestal, com dinâmica de indivíduos entre as diferentes classes diamétricas (Figura 2).

**Figura 2** - Distribuição diamétrica de *Eschweilera grandiflora* (Aubl.) Sandwith em área de floresta de terra-firme explorada e não explorada, Paragominas, PA.



**Legenda:** T0 - floresta não explorada; T1 - floresta explorada.

**Fonte:** Elaborada pelos autores.

T0 mostrou a diminuição do número de indivíduos nas classes diamétricas de 17,5 e 22,5cm com o aumento do número de indivíduos na classe 27,5, 37,5 e 42,5cm indicando o avanço gradual dos indivíduos para as classes superiores de diâmetro. Este tratamento apresentou um equilíbrio do número de indivíduos entre as diferentes medições (2003: 18,67 ind.ha<sup>-1</sup>; 2007: 18,33 ind.ha<sup>-1</sup>; 2011: 18,67 ind.ha<sup>-1</sup>). Nemer (2014) destaca o papel da dinâmica florestal como moderadora deste equilíbrio ecológico, onde as mudanças na composição florística e estrutura ocorrem em razão da abundância, diversidade e dos diferentes hábitos e formas de crescimento das espécies (Gomide, 1997).

T1 mostrou uma ligeira diminuição no número de indivíduos entre as medições de 2003 (17,00 ind.ha<sup>-1</sup>) e 2007 (16,67 ind.ha<sup>-1</sup>) seguido de um aumento em 2011 (17,33 ind.ha<sup>-1</sup>). Santos *et al.* (2018), também, observaram a diminuição no número de indivíduos de *Eschweilera blanchetiana*, em floresta de terra firme na Floresta Nacional do Tapajós após a exploração florestal (antes: 48 árv.ha<sup>-1</sup>; após: 44,5 árv.ha<sup>-1</sup>). Os autores afirmaram que a colheita reduziu o número de indivíduos, principalmente, nas primeiras classes de diâmetro. Os valores relativos à densidade encontrada para *E. blanchetiana* foram superiores aos encontrados para *E. grandiflora*, do presente estudo. Outra possibilidade é a de que a área seja uma região endêmica da espécie levantada por àqueles autores.

Apesar de *E. grandiflora* não ter sido explorada, essa sutil diferença entre o número de indivíduos nos diferentes anos de medição para T1, pode ser explicada pela abertura de clareiras ocasionadas durante a exploração, proporcionando um maior dinamismo entre os membros de uma comunidade florestal. A abertura de clareiras ocasionadas pela exploração segundo Jardim; Quadros (2016)

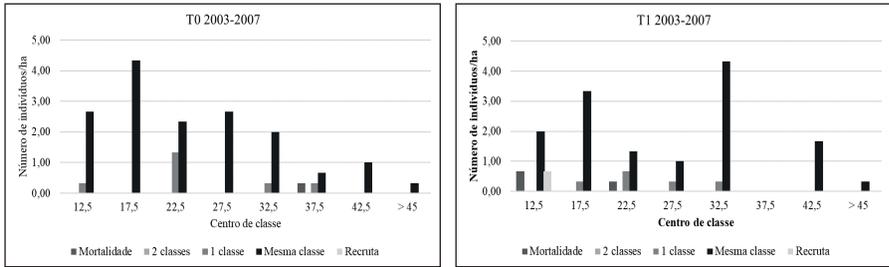
pode modificar a composição florística e estrutura da floresta fazendo com que o recrutamento e crescimento sejam favorecidos ao longo dos anos os quais deverão entrar em equilíbrio novamente após o fechamento das clareiras.

Após a exploração, o processo dinâmico desse ecossistema fica acelerado nos primeiros anos, principalmente, devido alterações bruscas em termos de quantidade e qualidade de luz, espaço, processo de regeneração de clareiras, competição e mortalidade causadas devido a exploração florestal (Vasconcelos; Higuchi; Oliveira, 2009).

### **Prognose da estrutura diamétrica com o uso da cadeia probabilística de Markov**

A densidade de indivíduos se manteve praticamente constante entre os diferentes tratamentos avaliados ao longo do período considerado. No entanto, foi observado uma dinâmica quanto as frequências destes nas diferentes classes diamétricas. A mortalidade foi maior na área sob ação da exploração florestal. Da mesma forma o recrutamento e dinâmica entre as classes diamétricas foi maior em T1. Tanto em T0 quanto em T1 a mortalidade foi superior ao recrutamento. Em T0 não houve recrutas para o período estudado (2003-2007) (Figura 3). O mesmo comportamento foi observado por Gouveia *et al.* (2018) em um estudo sobre dinâmica de uma área manejada na FLONA do Tapajós. Estes autores afirmaram que o balanço negativo entre as taxas de mortalidade e recrutamento em áreas recém-exploradas, é esperado, devido a mortalidade natural (ocasionada pela dinâmica da floresta) e mortalidade provocada pelas operações de colheita (derruba, arraste de toras etc.).

**Figura 3** - Ingresso, mortalidade e dinâmica entre as diferentes classes diamétricas de *Eschweilera grandiflora* (Aubl.) Sandwith em área de floresta de terra-firme explorada e não explorada, Paragominas, PA.



**Legenda:** T0 - Floresta não explorada; T1 - Floresta explorada; Recruta - indivíduos que ingressaram na primeira classe de diâmetro; 2 classes - indivíduos que avançaram duas classes diamétricas; 1 classe - indivíduos que avançaram uma classe diamétrica; Mesma classe - indivíduos que permaneceram na mesma classe de diâmetro.

**Fonte:** Elaborada pelos autores.

As altas taxas de mortalidade podem estar diretamente relacionadas a exploração madeireira, não apenas em função da derrubada das árvores, mas devido aos danos ocasionados por tal atividade (Santos *et al.*, 2018).

Com base nos dados referente as frequências das árvores nas diferentes classes diamétricas foram obtidas as matrizes, em que são avaliadas as probabilidades, de cada indivíduo permanecer na mesma classe de diâmetro, passar para uma ou duas classes seguintes ou sair do sistema mediante mortalidade. Exemplificando, a probabilidade de uma árvore, pertencente a segunda classe diamétrica (22,5cm) no tratamento T1 permanecer na mesma classe é de 57% (0,57), enquanto a probabilidade de mudar para a classe seguinte (27,5) é de 29% (0,29). De forma análoga a probabilidade de mortalidade nesta classe (22,5) é de 14% (0,14) (Figura 4).

**Figura 4** - Matrizes de probabilidade de transição, para os períodos de 2003-2007 para *Eschweilera grandiflora* (Aubl.) Sandwith em área de floresta de terra-firme explorada e não explorada, Paragominas, PA.

		Centro de Classe T0 2003								
		R	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	> 45
Centro de Classe T0 2007	12,5	0,00	0,89							
	17,5		0,11	1,00						
	22,5		0,00	0,00	0,64					
	27,5			0,00	0,36	1,00				
	32,5				0,00	0,00	0,86			
	37,5					0,00	0,14	0,50		
	42,5						0,00	0,25	1,00	
	> 45							0,00	0,00	1,00
M		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	

		Centro de Classe T1 2003								
		R	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	> 45
Centro de Classe T1 2007	12,5	2,00	0,75							
	17,5		0,00	0,91						
	22,5			0,00	0,09	0,57				
	27,5				0,00	0,29	0,75			
	32,5					0,00	0,25	0,93		
	37,5						0,00	0,07	0,00	
	42,5							0,00	0,00	1,00
	> 45								0,00	0,00
M		0,25	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

**Legenda:** T0 - Floresta não explorada; T1 - Floresta explorada; R - recrutamento; (indivíduos que ingressaram na primeira classe de diâmetro); M - mortalidade.

**Fonte:** Elaborada pelos autores.

Independente do tratamento as árvores apresentaram maior probabilidade de permanecerem na mesma classe diamétrica (Figuras 3 e 4), semelhante aos trabalhos de Francez (2019), Colpini; Silva; Soares (2017) e Lana *et al.* (2015a). Estes últimos autores afirmaram que a questão de permanência nas classes diamétricas sofre influência do período avaliado, assim como o intervalo considerado entre as diferentes classes diamétricas.

Da mesma forma que os trabalhos de Francez (2019) e Lana *et al.* (2015a) a probabilidade de mortalidade ocorreu nas menores classes de diâmetro (12,5 e 22,5). No entanto, T0 apresentou mortalidade na classe de 37,5cm, provavelmente ocasionado de forma natural. A mortalidade nas classes diamétricas superiores, também, foi observado por Colpini; Silva; Soares (2017). Este comportamento aleatório (mortalidade em diferentes classes diamétricas) fundamenta a utilização da cadeia de Markov, conforme recomendado por estes últimos autores.

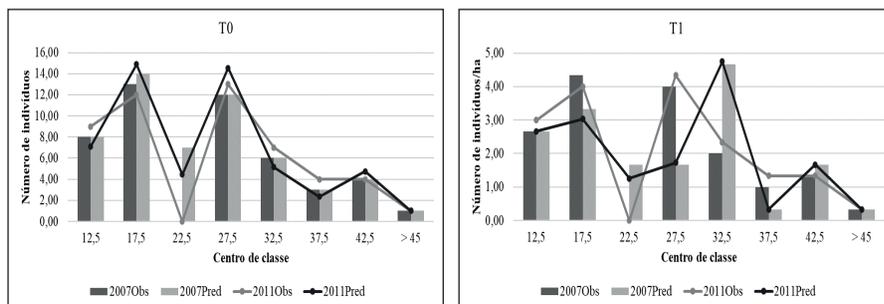
As matrizes geradas apresentaram estados absorventes (0,00), semelhante ao ocorrido em Francez (2019). Este estado tem como particularidade o não movimento dos indivíduos para as classes seguintes de diâmetro, ocasionando o aumento contínuo de indivíduos em uma determinada classe. Estes estados são prejudiciais às projeções relativas a mais de um período de avaliação ou para longos períodos, sendo este um dos fatores limitantes do uso da cadeia de Markov. Desta forma as projeções devem ser feitas para curtos intervalos de tempo (Azevedo *et al.*, 2007). Outro fator que possibilita a ocorrência destes estados absorventes é a baixa frequência de indivíduos e o crescimento lento de algumas espécies (Francez, 2019). Foi observado que *E. grandiflora* não avançou mais que uma classe diamétrica no período avaliado, o que pode ser um indicativo de crescimento reduzido da espécie.

Os valores estimados para o ano de 2011 foram semelhantes aos observados em campo ao considerar a área não explorada (T0  $\chi^2$ cal.= 7,62;  $\chi^2$ cal.= 19,67) e diferentes para a área explorada (T1  $\chi^2$ cal.= 29,52;  $\chi^2$ cal.= 19,67), de acordo com o teste Qui-quadrado a 5% de probabilidade (Figura 5 - linhas). Estes resultados apontam que o uso da cadeia probabilística de Markov é eficiente para a prognose do crescimento ao considerar curtos períodos de avaliação em florestas não alteradas, semelhante ao encontrado por Francez (2019) em área não explorada na Floresta Nacional do Tapajós.

Os valores preditos para 2011, considerando T1, apresentaram variações em diferentes classes diamétricas subestimando (centro de classe: 17,5 e 37,5cm) ou superestimando (centro de classe: 22,5 e 32,5cm) tais valores. Isso pode ser explicado em razão do aumento na dinâmica dos indivíduos nesta área devido a exploração florestal, que ocasionando abertura de clareiras proporciona um maior ingresso e mortalidade na floresta além de exercer influência no incremento da espécie. Em função disso Vasconcelos; Higuchi; Oliveira (2009) e Francez (2019) recomendam que seja aguardado um tempo a fim de que haja um equilíbrio entre o recrutamento e mortalidade em povoamentos alterados.

Outro ponto a ser considerado, é a necessidade de modelagem do ingresso e mortalidade para a inserção nas prognoses realizadas pela cadeia de Markov, uma vez que esta desconsidera os fatos ocorridos no passado e que estes não influenciarão a projeção que será realizada (Embrapa, 2013).

**Figura 5** - Distribuição do número de indivíduos por classe diamétrica, entre os valores observados e estimados, de *Eschweilera grandiflora* (Aubl.) Sandwith em área de floresta de terra-firme explorada e não explorada, Paragominas, PA.



**Legenda:** T0 - Floresta não explorada; T1 - Floresta explorada; Pred - valores preditos; Obs - valores observados.  
**Fonte:** Elaborada pelos autores.

A avaliação da prognose da estrutura diamétrica da floresta é uma ferramenta valiosa ao silvicultor permitindo a definição do estoque de crescimento e consequentemente o planejamento da exploração florestal por classe diamétrica. No entanto, assumir que as probabilidades considerem apenas o estado atual da floresta e sejam fixas ao longo do tempo é um ponto negativo da cadeia (Bruner; Moser Jr. (1973) *apud* Francez (2019); Reis *et al.*, 2014). Ainda assim, presume-se que modelos gerados por meio da Cadeia Probabilística de Markov sejam mais eficientes do que os modelos determinísticos (Francez, 2019).

Poucas são as informações acerca da prognose a nível de espécie, por meio do uso da cadeia probabilística de Markov, para espécies amazônicas. Estudos sobre a dinâmica e prognose da distribuição diamétrica a nível de espécie são necessários, a fim de que os resultados alcançados sejam uma ferramenta valiosa para a indicação das práticas silviculturais mais adequadas.

## CONCLUSÃO

- A distribuição diamétrica apresentou comportamento semelhante entre os diferentes anos de avaliação para os dois tratamentos realizados na área. No entanto, a frequência dos indivíduos se mostrou mais dinâmica na área explorada;
- A cadeia probabilística de Markov se mostrou eficiente para a projeção na área não explorada, demonstrando a necessidade de aguardar um período para o equilíbrio entre o recrutamento e mortalidade em áreas antropizadas que têm seus mecanismos alterados em função dos distúrbios ocasionados pela exploração florestal.

## REFERÊNCIAS

ASSMANN, E. **The principles of forest yield: studies in the organic production, structure, increment and yield of forest stands.** Braunschweig: Pergamon Press, 1970. p. 506.

AZEVEDO, C. P. D.; SOUZA, L. D.; JESUS, R. M. D. Um modelo de matriz de transição para prognose do crescimento de um povoamento natural remanescente não manejado de mata Atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 19, n. 2, p. 187-199, 1995.

AZEVEDO, C. P. de. *et al.* Predição da distribuição diamétrica de uma floresta manejada experimentalmente através de um Sistema de Equações Diferenciais. **Acta Amazônica**, [s. l.], v. 37, n. 4, p. 521-532, 2007.

BASTOS, T. X. *et al.* Características Agroclimáticas do Município de Paragominas. **Embrapa Amazônia Oriental- Documentos 228**, Belém, ed. 1, p. 10-21, dez. 2005.

BATISTA, A. P. B. **Dinâmica e predição da estrutura diamétrica de dois fragmentos de floresta atlântica no nordeste do Brasil.** 76f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, 2014.

COLPINI; SILVA, V. S. M. e; SOARES, T. S. Prognose da estrutura diamétrica e da produção de uma floresta de contato ombrófila aberta/estacional. **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v. 4, n. 3, p. 147-150, 2017.

- CUNHA, U. S. da. *et al.* Predição da estrutura diamétrica de espécies comerciais de terra firme da Amazônia por meio de matriz de transição. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, p. 109-122, 2002.
- CRUZ, L. L. *et al.* Distribuição diamétrica de três espécies de Lecythidaceae após exploração de impacto reduzido na Amazônia Oriental. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 171-190, jan./mar. 2021.
- EBLING, A. A.; PELISSARI, A. L.; ABRÃO, S. F.; BAMBERG, R. Prognose da estrutura diamétrica de remanescente de floresta com Araucária utilizando a função densidade de probabilidade Weibull. **Revista Agro@mbiente**, v. 8, n. 1, p. 112-118, jan./abr. 2014.
- EMBRAPA — Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Anais da reunião técnica: Biometria florestal – modelos de crescimento e produção**. Colombo: Embrapa Floresta, 2013. p. 10-55. (Documentos 257).
- FRANCEZ, L. M. de B. **Dinâmica de *Carapa guianensis* Aubl. Em floresta amazônica submetida a tratamentos silviculturais**. 139f. Tese (Doutorado em Manejo Florestal) - Universidade Federal De Santa Maria. Santa Maria, 2019.
- FRANCEZ, L. M. de B. **Impacto da exploração florestal na estrutura de uma área de floresta na região de Paragominas, PA**, considerando duas intensidades de colheita de madeira. 180f. Dissertação (Pós-graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Silvicultura e Manejo Florestal) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2006.
- GOMIDE, G. L. A. **Estrutura e dinâmica de crescimento de florestas tropicais primária e secundária no Estado do Amapá**. 179f. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.
- GOUVEIA, D. M. *et al.* Estrutura e dinâmica de uma área manejada na Floresta Nacional do Tapajós. **Agroecossistemas**, v. 10, n. 2, p. 94-112, 2018. ISSN *on-line* 2318-0188.
- HOLMES, T. P. *et al.* **Custos e benefícios financeiros da exploração florestal de impacto reduzido em comparação à exploração florestal convencional na Amazônia Oriental**. 2. ed. Belém, 2004. p. 7- 66.
- HUMMEL, A. C. *et al.* **A atividade madeireira na Amazônia brasileira: produção, receita e mercados**. Serviço Florestal Brasileiro (SFB), Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon): Belém, 2010. p. 20.
- JARDIM, F. C. S.; QUADROS, L. C. L. Estrutura de uma floresta tropical dez anos após exploração de madeira em Moju, Pará. **Revista Ceres**, v. 63, n. 4, p. 427-435, 2016.
- LANA, M. D. *et al.* Prognose da Estrutura Diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. **Floresta e Ambiente**, [S. l.], n. 22, v. 1, p. 71-78, 2015a.
- LANA, M. D. *et al.* Projeção Diamétrica por Razão Dde Movimentação em um Fragmento de Floresta Ombrófila Mista no Sul do Paraná. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 1, p. 151-162, jan./ mar. 2015b.
- LEMOS, S. S.; BISPO C. J. C. Geoprocessamento na caracterização física, uso e ocupação do solo da microbacia do rio Uraim, Paragominas-PA. **Anais XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Brasília, p. 1-7, 2015.
- LOUREIRO, V. R.; PINTO, J. N. A. A questão fundiária na Amazônia. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 19, n. 54, p. 77-98, maio/ago. 2005.
- MACHADO, S. A. *et al.* Funções de distribuição diamétrica em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 8, p. 2428-2434, 2009.

NEMER, T. C. **Dinâmica da vegetação de Floresta Tropical de Terra Firme influenciada por clareiras de origem antrópica, Moju, Pará, Brasil**. 97f. (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

NUTTO, L. Manejo do crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. baseado na árvore individual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 9-25, 2001.

OLIVEIRA, M. A. J. *et al.* Caracterização morfológica e anatômica dos frutos e germinação da biriba (*Eschweilera ovata*). **Revista Biociências**, v. 21, n. 2, p. 52-62, 2015.

OIMT — Organización Internacional De Las Maderas Tropicales. **Reseña anual y evaluación de la situación mundial de las maderas**. Yokohama: OIMT, 2006. p. 210.

PARÁ, G. D. **Município de Paragominas**: Estatística Municipal 2011. Paragominas: Instituto de Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental do Pará. Secretaria de Estado de Planejamento, Orçamento e Finanças, 2011. p. 46.

PINTO, A. *et al.* **Diagnóstico Socioeconômico e Florestal do Município de Paragominas**: Relatório Técnico. Belém/PA: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia - Imazon, 2009. p. 2-65.

PULZ, F. A. *et al.* O. Acuracidade da predição da distribuição diamétrica de uma floresta inequidiana com a matriz de transição. **Cerne**, [S. l.], v. 5, p. 01-14, 1999.

REIS, L. P. *et al.* Dinâmica da distribuição diamétrica de algumas espécies de Sapotaceae após exploração florestal na Amazônia Oriental. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 57, n. 3, p. 234-243, 2014.

REIS, L. P. *et al.* Prognose I distribuição diamétrica por matriz de transição em floresta após colheita no leste da Amazônia. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 715-724, abr./jun. 2018.

REIS, P. C. M. R. *et al.* Distribuição diamétrica após colheita de madeiras com ênfase às espécies de Lecythidaceae. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer de Goiânia, v. 13 n. 24, p. 423, 2016.

RODRIGUES, T. E. *et al.* Caracterização e Classificação dos Solos do Município de Paragominas, Estado do Pará. **Embrapa Amazônia Oriental - Documentos 162**, Belém, p. 9-49, abr. 2003.

SANQUETTA, C. R. *et al.* Matriz de transição para simulação da dinâmica de florestas naturais sob diferentes intensidades de corte. **Ciência Florestal**, v. 6, n. 1, p. 65-78, 1996.

SANQUETTA, C. R. *et al.* **Inventário Florestais**: Planejamento e Execução. 2. ed. Curitiba: [s.n.], 2009. p. 316.

SANTOS, M. F. *et al.* Estrutura, distribuição espacial e dinâmica florestal de duas espécies nativas após extração manejada de madeira na Flona do Tapajós. **Advances in Forestry Science**, v. 5, n. 2, p. 351-356, 2018.

SCOLFORO, J. R. S.; PULZ, F. A.; MELO, J. M. Modelagem da produção, idade das florestas nativas, distribuição espacial das espécies e análise estrutural. In: SCOLFORO, J. R. S. **Manejo Florestal**. Lavras: UFLA / FAEPE, 1998. p. 57.

SHEIL, D.; MAY, R. M. Mortality and recruitment rate evaluations in heterogeneous tropical forests. **Journal of ecology**, [S. l.] v. 84, n. 1, p. 91-100, feb. 1996.

SILVA, J. N. M. *et al.* **Diretrizes para Instalação e Medição de Parcelas Permanentes em Florestas Naturais da Amazônia Brasileira**. Belém: Embrapa, 2005. p. 68.

SOUZA, A. L. de; SOARES, C. P. B. **Florestas nativas:** estrutura, dinâmica e manejo. Viçosa: UFV, 2013. p. 322.

TEIXEIRA, L. M. *et al.* Projeção da dinâmica da floresta natural de Terra-firme, região de Manaus-AM, com o uso da cadeia de transição probabilística de Markov. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 37, p. 377-384, 2007.

VASCONCELOS, S. S.; HIGUCHI, N.; OLIVEIRA, M. V. N. Projeção da distribuição diamétrica de uma floresta explorada seletivamente na Amazônia Ocidental. **Acta Amazônica**, [S. l.], v. 39, n. 1, p. 71-80, 2009.

VERÍSSIMO, A. *et al.* **Áreas para produção florestal manejada:** Detalhamento do Macrozoneamento Ecológico Econômico do Estado do Pará. Belém, Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, 2006. p. 81.

WATRIN, O. D. S.; ROCHA, A. M. A. Levantamento da vegetação natural e do uso da terra no município de Paragominas (PA) utilizando imagens TM/LANDSAT. **Embrapa - CPATU**, Belém, n. 124, p. 8-40, fev. 1992.

ZHANG, X. *et al.* Predicting tree recruitment with negative binomial mixture models. **Forest Ecology and Management**, [S. l.], v. 270, p. 209-215, abr. 2012.