

Villanova Longhi, Régis; Schneider, Paulo Renato; Fagner de Souza e Lira, David; dos Santos Lisboa, Gerson

Projeção da distribuição diamétrica em floresta com araucária explorada seletivamente no Sul do Brasil

Revista Brasileira de Ciências Agrárias, vol. 12, núm. 2, 2017, pp. 210-219

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Pernambuco, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=119051638014>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

Projeção da distribuição diamétrica em floresta com araucária explorada seletivamente no Sul do Brasil

Régis Villanova Longhi¹, Paulo Renato Schneider²,
David Fagner de Souza e Lira³, Gerson dos Santos Lisboa⁴

¹ Universidade Federal de Alagoas, Campus A. C. Simões, Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro dos Martins, CEP 57072-900, Maceió-AL, Brasil. E-mail: regislonghi@yahoo.com.br

² Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Departamento de Ciências Florestais, Campus Universitário, Av. Roraima, 1000, Camobi, CEP 97960-600, Santa Maria-RS, Brasil. E-mail: schneider.paulorenato@gmail.com

³ Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Patos, Departamento de Engenharia Florestal, Av. Universitária, s/n, Jatobá, CEP 58708-110, Patos-PB, Brasil. E-mail: liradfs@gmail.com

⁴ Universidade Federal do Sul da Bahia, Instituto de Humanidades, Artes e Ciências do Campus Jorge Amado, Rua Itabuna, s/n, Rodovia Ilhéus – Vitória da Conquista, BR 415, km 39, Ferradas, CEP 45613-204, Itabuna-BA, Brasil. E-mail: gerson.lisboa@gmail.com

RESUMO

O estudo teve como objetivo avaliar a acuracidade das projeções das frequências por classe de diâmetro em uma floresta com araucária após exploração seletiva de madeira, sendo testados os métodos da Matriz de Transição e Razão de Movimentação, aplicados em duas amplitudes de classes diamétricas (5 e 10 cm). Os dados utilizados no presente estudo são oriundos de duas parcelas permanentes de 50x100 m que passaram por corte seletivo de intensidade leve (redução de 20-30% da área basal) no ano de 2002 e foram monitoradas nos anos de 2006, 2010 e 2014, aos quatro, oito e doze anos após as intervenções de manejo, respectivamente. A eficiência das projeções de frequência por classe diamétrica foi verificada comparando-se os valores projetados e observados, adotando-se o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov a 95% de probabilidade. Os métodos de projeções se mostraram eficientes para descrever a estrutura futura da floresta após os cortes seletivos para ambas as amplitudes de classes diamétricas testadas, sendo que a Razão de Movimentação, com amplitude diamétrica de 10 cm, apresentou maior acuracidade, permitindo projetar o comportamento futuro da estrutura diamétrica da floresta após intervenções silviculturais.

Palavras-chave: floresta nativa; matriz de transição; razão de movimentação

Diametric projection distribution of an araucaria forest explored selectively in Southern Brazil

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the accuracy of the projections of frequencies by diameter class in a Araucaria Forest after selective logging, and tested methods of Transition Matrix and Ratio Movement, applied in two amplitudes of diameter classes (5 and 10 cm). The data used in this study are from two permanent plots of 50x100 m that passed light intensity selective cutting (20-30% reduction in basal area) in 2002 and were monitored in 2006, 2010 and 2014 (four, eight and twelve years after the management interventions, respectively). The efficiency of frequency projections by diameter class was verified by comparing the projected and observed values, adopting the Kolmogorov-Smirnov test at 95% probability. The projection methods were efficient to describe the future forest structure after the selective cuts for both tested diameter classes amplitudes, and the method of the Ratio Movement with diameter range of 10 cm showed greater accuracy, allowing project the future behavior of the diametric structure of the forest after silvicultural interventions.

Key words: native forest; transition matrix; ratio movement

Introdução

Nas florestas nativas dominadas pela *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, tipologia florestal conhecida como Floresta Ombrófila Mista (FOM), de ocorrência na região Sul do Brasil, atualmente possui seu manejo restrinido para proteger os últimos remanescentes da exploração desordenada efetuada no passado. Contudo, segundo Nutto (2001) a restrição no uso de um recurso natural raramente é aceita pela população quando existe a necessidade de seu uso como matéria prima ou como fonte de receita, sendo que a proteção via proibição, significa uma desvalorização do bem que, em muitos casos, tem como consequência a perda de interesse em sua conservação. Logo, para que a Floresta Ombrófila Mista seja efetivamente preservada, não basta apenas o enrijecimento das leis ambientais, mas se faz necessária a elaboração de alternativas de manejo que permitam conservar e utilizar racionalmente esses recursos.

O manejo florestal só estará fundamentado se contiver uma previsão de quanto do volume que foi extraído poderá ser recuperado pela floresta no período definido pelo ciclo de corte (Braz et al., 2012). Para definir o ciclo de corte de uma floresta nativa é necessário realizar prescrições adequadas de tratamentos silviculturais ou indicar se a floresta está respondendo ou não a estes tratamentos silviculturais. Sobre isto, Teixeira et al. (2007) citam o entendimento do comportamento das taxas de crescimento, recrutamento e mortalidade, em condições naturais ou sob manejo, como informações importantes para definir quanto tempo uma espécie ou um grupo de espécies demora para atingir uma determinada dimensão. Essa capacidade de recuperação da floresta pode ser estimada mediante modelos de crescimento e produção florestal.

Segundo Daniel & Burkhardt (1988), os modelos de crescimento podem ser divididos em três categorias: modelos de povoamento total, modelos de distribuição por classe de tamanho e modelos de árvores individuais. Destes, os modelos de distribuição diamétrica são os mais comuns e baseiam-se em funções probabilísticas de distribuição, permitindo descrever as alterações na estrutura do povoamento ao longo do tempo (Austragésilo et al., 2004). Dentre esses modelos, os de Matriz de Transição e Razão de Movimentação têm trazido informações suficientes para o manejo de florestas naturais, sem a complexidade ligada aos modelos de árvores individuais e, conforme Sanquetta et al. (1996), ao contrário dos modelos clássicos usados em florestas plantadas, não se apoia em variáveis de difícil acesso como idade e índice de sítio.

O modelo da Razão de Movimentação é baseado na teoria de projeção das tabelas de povoamento aplicadas às florestas naturais, em que o incremento diamétrico médio é a variável mais usual para gerar as estimativas (Ebling et al., 2012). Nesse modelo, assume-se que as árvores estão distribuídas uniformemente no interior das classes e que cada árvore cresce a uma taxa média (Scolforo et al., 1998).

A Matriz de Transição, também denominada de Cadeia de Markov ou Matriz de Usher (Vanclay, 1994), pode ser considerada um processo estocástico, assumindo que uma árvore possui uma determinada probabilidade de permanecer

ou migrar para outras classes de diâmetro, dependendo apenas de seu estado atual, não sofrendo efeitos do desenvolvimento passado da floresta, sendo essa característica definida como Propriedade Markoviana (Schneider & Finger, 2000). Segundo os mesmos autores, o método de Matriz de Transição traz melhores resultados se o povoamento for mantido em condições semelhantes, sendo o caso de povoamento sem manejo, próximo ao clímax, ou povoamentos regulares manejados para uma área basal específica. Nesse último caso, se as condições do povoamento futuro apresentarem grande diferença em relação às condições em que os dados foram coletados, as projeções podem ser irrealistas.

No domínio da Floresta Ombrófila Mista, alguns estudos sobre projeções da estrutura diamétrica já foram realizados utilizando-se metodologia da Matriz de Transição e da Razão de Movimentação, onde foram observados boa acuracidade e eficiência desses métodos nas projeções realizadas em floresta sem histórico recente de exploração, podendo-se citar os trabalhos de Stepka et al. (2010), Ebling et al. (2012), Ebling et al. (2013) e Dalla Lana et al. (2015). Contudo, em FOM submetida à exploração seletiva de madeira ou após aplicação de tratamentos silviculturais, estes métodos ainda não foram avaliados quanto a sua capacidade de estimar de forma confiável a produção futura na floresta sob manejo e, assim, inferir sobre a eficiência de tratamentos silviculturais ou na definição do ciclo de corte da floresta manejada.

Diante do exposto, o objetivo geral do presente estudo foi avaliar a eficiência do uso dos métodos de Matriz de Transição e Razão de Movimentação na projeção da distribuição diamétrica em uma Floresta Ombrófila Mista após corte seletivo de intensidade leve, na região nordeste do Rio Grande do Sul.

Material e Métodos

Área de estudo e obtenção dos dados

A presente pesquisa foi realizada na Fazenda Tupi, pertencente à empresa Paludo Agropecuária S.A., localizada no município de Nova Prata, RS, entre as coordenadas 28°40' e 28°43'S e 51°38' e 51°36'W. A área total da propriedade é de 962 ha, sendo 784 ha ocupados, conforme IBGE (2012), com Floresta Ombrófila Mista. Essa área possui um histórico de uso da floresta que remete à extração seletiva de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze ocorrida no passado, a qual modificou a estrutura da floresta, tanto pela ampla subtração das araucárias como pelos danos causados às árvores remanescentes. Atualmente, a partir de um inventário florestal com um grande esforço amostral (7,1 ha) realizado na Fazenda Tupi, Callegaro et al. (2016) verificaram uma densidade média para a *Araucaria angustifolia* de 14,5 ind ha⁻¹ e valores médios de densidade, área basal, altura e diâmetro para a floresta em geral de: 600 ind ha⁻¹, 32,08 m² ha⁻¹, 13,9 metros e 22,2 cm, respectivamente; o que caracteriza essa vegetação, de acordo com a resolução do Conama nº 33/94 (Brasil, 1994), como vegetação secundária em estágio avançado de regeneração natural.

O relevo predominante na região é ondulado, onde ocorrem solos do tipo Nitossolos e Neossolos (Streck et al., 2008).

O clima da região de estudo, de acordo com a classificação climática de Köppen é do tipo Cfa - Subtropical úmido com verão quente, temperatura média anual entre 16 a 18 °C e chuvas distribuídas em todos os meses do ano, com precipitação anual em torno de 1900 mm (Alvares et al., 2013).

A área amostral do presente estudo é parte integrante de um experimento de manejo em FOM realizado no ano de 2002 em estudo idealizado e conduzido por Borsoi (2004). Esse experimento teve a finalidade de testar diferentes intensidades de cortes seletivos em unidades de 0,5 ha, e consistiram em reduzir em diferentes níveis percentuais de área basal a curva de distribuição de frequência por classe de diâmetro. As reduções variaram de 20% a 60% da área basal, sendo dada preferência à indivíduos defeituosos e às espécies de maior densidade absoluta, com o objetivo de conduzir a floresta a uma estrutura produtiva no futuro. Vale salientar que na ocasião da intervenção silvicultural não foram realizados cortes da *Araucaria angustifolia*, devido sua condição de proibição ao corte, além da baixa frequência de indivíduos.

Após 12 anos da aplicação das intervenções silviculturais na floresta, Longhi (2016) avaliou a recuperação da mesma e concluiu que cortes seletivos de intensidade leve (redução de 20 a 30% da área basal por classe de diâmetro) necessitam 10 anos para recuperar o estoque inicial, apresentando elevadas taxas de crescimento e ingresso de espécies comerciais. Logo, esse nível de intervenção pode ser indicado como modelo a ser seguido para o manejo da Floresta Ombrófila Mista, visando produção madeireira ou condução da floresta para uma estrutura produtiva através da aplicação de tratamentos silviculturais (raleamentos).

Dessa forma, para o presente estudo, as unidades amostrais referentes a essa intensidade de corte foram tomadas para a realização das projeções da estrutura diamétrica, a qual foi composta de duas unidades permanentes de 50mx100m, perfazendo uma área amostral total de 1,0 ha. Os dados de dinâmica da vegetação utilizados para a realização das projeções, foram provenientes de três ocasiões de medição do experimento, ou seja, três inventários de monitoramento da floresta realizados nos anos de 2006, 2010 e 2014, correspondendo ao tempo de quatro, oito e doze anos após a aplicação dos cortes seletivos, respectivamente. Nessas ocasiões, todas as árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) $\geq 10,0$ cm presentes em cada unidade foram remedidas, além de monitoradas quanto aos processos dinâmicos de mortalidade e ingresso de novos indivíduos nas unidades.

Métodos de projeção da distribuição diamétrica

Foram testados a utilização dos métodos de projeção de Matriz de Transição (Cadeia de Markov) e Razão de Movimentação. A Matriz de Transição foi construída com base na enumeração da migração ou permanência dos indivíduos em suas respectivas classes diamétricas, assim como o número de recrutamentos e mortalidades dentro de cada classe. Para o que, utilizando-se álgebra de matrizes, o processo de simulação para 1 período ($t \rightarrow t+1$) pode ser resumido pela seguinte equação:

$$Y_{t+\Delta t} = G \cdot Y_{it} + I_{it} \quad (1)$$

em que:

$Y_{t+\Delta t}$ - número de árvores projetadas;
 G - matriz de probabilidade de transição por classe diamétrica;
 Y_{it} - frequência da classe de diâmetro;
 I_{it} - recrutamento.

A forma matricial da expressão anterior, com a mortalidade incluída na última linha da matriz de probabilidades de transição (G), pode ser descrita da seguinte forma (Buongiorno & Michie, 1980):

$$\begin{bmatrix} Y_{1t+\Delta t} \\ Y_{2t+\Delta t} \\ Y_{3t+\Delta t} \\ Y_{4t+\Delta t} \\ \vdots \\ Y_{nt+\Delta t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ b_2 & a_2 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ c_3 & b_3 & a_3 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & c_4 & b_4 & a_4 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & c_n & b_n & a_n \\ m_1 & m_2 & m_3 & m_4 & \cdots & m_n \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} Y_{1t} \\ Y_{2t} \\ Y_{3t} \\ Y_{4t} \\ \vdots \\ Y_{nt} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I_{1t} \\ I_{2t} \\ I_{3t} \\ I_{4t} \\ \vdots \\ I_{nt} \end{bmatrix} \quad (2)$$

em que:

a_i , b_i , c_i - probabilidades de uma árvore viva permanecer na mesma classe diamétrica (a_i), mudar para a classe diamétrica subsequente (b_i), ou ainda mudar duas classes (c_i);

m_i - probabilidade de uma árvore viva vir a morrer no período considerado.

Para a projeção pelo método de Razão de Movimentação, primeiramente foi identificado o incremento periódico anual em diâmetro (IPAd) por classe de DAP (cm), utilizando o método do incremento diamétrico médio na projeção do povoamento, reconhecendo a dispersão dentro da classe de diâmetro, conforme apresentado por Scolforo et al. (1998). Este método pode ser utilizado mesmo quando a distribuição das frequências não é conhecida na classe de diâmetro, assumindo-se que esta é uniforme. Dentro desta suposição a proporção de árvores que avançaram de uma classe diamétrica para outra é chamada de razão de movimento e é dada pela expressão:

$$RMov_j = \left(\frac{IPMd_j}{\Delta D} \right) \times 100 \quad (3)$$

em que:

$RMov_j$ - razão de movimento da j -ésima classe de diâmetro;
 $IPMd_j$ - incremento periódico médio em diâmetro da j -ésima classe de diâmetro;
 ΔD - amplitude de classe de diâmetro.

O incremento periódico médio por classe diamétrica foi obtido a partir da expressão:

$$IPMd_j = \frac{\sum_{i=1}^n (DAP_{2i} - DAP_{1i})}{n} \quad (4)$$

em que:

IPMd_j - incremento periódico médio em diâmetro da j-ésima classe de diâmetro;

DAP_{1i} - DAP da i-ésima árvore na 1^o medição;

DAP_{2i} - DAP da i-ésima árvore na 2^o medição;

n - número total de árvores em cada classe diamétrica.

Os valores da razão de movimento obtidos em cada classe de diâmetro indicam a porcentagem do total de árvores que migram para a próxima classe diamétrica. Já o seu valor decrescido de 100 indica a porcentagem do número total de indivíduos que permanecem na classe diamétrica original. Logo, as prognoses realizadas por esse método deu-se pelos seguintes passos: 1) relacionar o número de árvores por hectare e por classes de diâmetro para o tempo $t+1$; 2) definir o incremento periódico médio de cada classe diamétrica; 3) calcular a razão de movimento; 4) somar e subtrair, respectivamente, a taxa de recrutamento e mortalidade por classe de diâmetro.

Para ambos os métodos anteriormente descritos, as frequências por classe de diâmetro observadas nos anos de 2006 e 2010 (quatro e oito anos após as intervenções silviculturais, respectivamente) permitiram realizar projeções da distribuição diamétrica para o ano de 2014 (doze anos após os cortes seletivos), considerando-se para tal duas amplitudes de classes de diâmetro (5 e 10 cm).

Avaliação das prognoses

A prognose da distribuição diamétrica para um período de projeção ($t+1$), ou seja, para o ano de 2014 (12 anos após as explorações) em cada amplitude de classe diamétrica analisada (5 e 10 cm), foi comparada com os dados reais observados no ano de 2014, com a finalidade de se verificar a acuracidade dessas projeções e confirmar a eficiência desse método em floresta com araucária explorada seletivamente. Para essa análise utilizou-se o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (K-S) ao nível de 95% de probabilidade.

O teste de Kolmogorov-Smirnov compara a máxima diferença entre a frequência observada acumulada e a frequência estimada acumulada, dividida pelo número de observações (Schneider et al., 2009). A razão (D_{calc}) é comparada com o valor de Kolmogorov-Smirnov, que ao nível de significância de 5% é dado por $D_{\text{tab}} = 1,36/\sqrt{n}$, sendo n o número de observações. Se $D_{\text{calc}} < D_{\text{tab}} (\alpha = 5\%)$ aceita-se a hipótese de que a distribuição diamétrica prognosticada é aderente à distribuição observada (H_0), caso contrário rejeita-se a hipótese e as distribuições prognosticadas não seguem as distribuições observadas (H_1).

Mediante análise gráfica da distribuição diamétrica das frequências observadas e estimadas, e com base no resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov, foi determinado o melhor método empregado para projeção da floresta em estudo. Com esse resultado, foi então realizada a simulação da projeção futura em um período de 16 anos (4 projeções), com os dados obtidos nos anos de 2010 e 2014, com o objetivo de se conhecer a distribuição diamétrica da frequência de indivíduos e da área basal esperada no intervalo de tempo de 12 a 28 anos após a realização dos cortes seletivos de intensidade leve. Essa

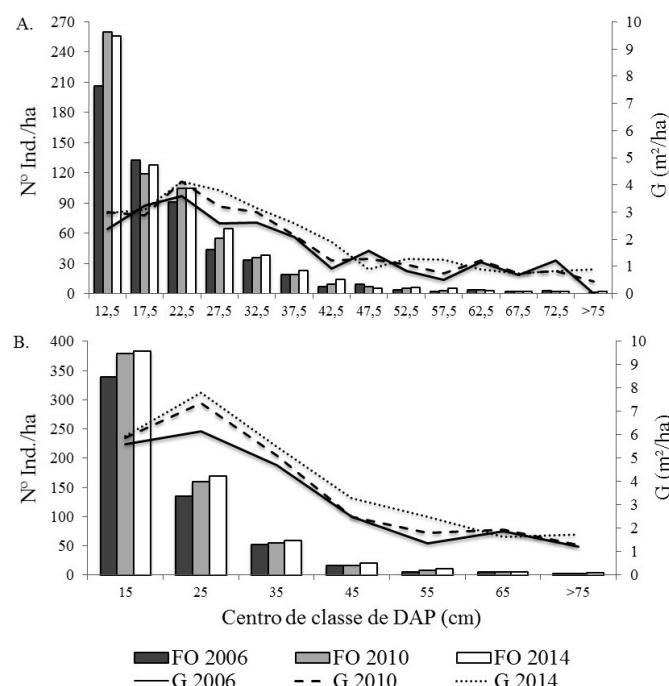
projecção a longo prazo, permite conhecer o comportamento esperado da floresta após a exploração, fornecendo parâmetros fundamentais para a prescrição de futuras intervenções na floresta, respeitando-se sempre a intensidade de corte estabelecida de 20-30% de redução da área basal total. Essas intervenções poderão apresentar finalidade de produção madeireira ou de um novo refinamento de espécies de alta densidade e baixo interesse comercial, aumentando-se o valor silvicultura da floresta.

Resultados e Discussão

Distribuição diamétrica observada

A evolução da distribuição diamétrica do número de indivíduos e da área basal por hectare observada para as ocasiões de 4, 8 e 12 anos após a exploração seletiva, está representada na Figura 1(A) para amplitude de classe de diâmetro de 5 cm e na Figura 1(B) para amplitude de classe de 10 cm de diâmetro.

Para ambas as amplitudes de classes de diâmetro e ocasiões de medição, verificou-se a distribuição em formato "J-invertido", típica das florestas inequianas heterogêneas, com alta concentração de indivíduos nas classes de menor diâmetro e redução acentuada no sentido das classes maiores, como descrito por Meyer (1952). Constatou-se assim, que os cortes seletivos aplicados no ano de 2002, com a redução de 20 a 30% da área basal por classe de diâmetro, não interferiram na forma da estrutura diamétrica da floresta, justificando a possibilidade do uso de modelos de projeção da estrutura diamétrica que dependem de seu estado atual, como os modelos de Matriz



FO = frequência observada; G = área basal; 2006, 2010 e 2014 = 4, 8 e 12 anos respectivamente após a aplicação dos cortes seletivos de intensidade leve.

Figura 1. Distribuição diamétrica da densidade e área basal após aplicação de tratamento silvicultural com corte seletivo leve em Floresta Ombrófila Mista, para amplitude de classe de diâmetro de 5 cm (A) e 10 cm (B). Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

de Transição e de Razão de Movimentação, apesar de suas já conhecidas limitações de uso em florestas alteradas.

A distribuição diamétrica para as amplitudes de classes analisadas, demonstrou que para a amplitude de 10 cm (Figura 1B), tanto o número de árvores como a área basal, apresentaram tendência de aumentar com o passar do tempo, mostrando claramente os sinais de recuperação da floresta após os cortes seletivos. Em termos de projeção da estrutura diamétrica, este comportamento é fundamental para a obtenção de resultados satisfatórios. Já para a amplitude de 5 cm a tendência de crescimento não foi observada nas classes de diâmetro, podendo estar influenciado pela menor amplitude diamétrica utilizada, onde a dinâmica de crescimento entre as classes é mais intensa, com umas ora decrescendo com o passar do tempo, e outras, ora aumentando (Figura 1A).

Em relação a dinâmica da floresta após os cortes seletivos de intensidade leve, o manejo realizado proporcionou maior taxa de recrutamento em relação à de mortalidade, com valores de 4,13% (23 ind $ha^{-1} ano^{-1}$) e 0,99% respectivamente, considerando o período entre quatro e oito anos após às intervenções. Já entre os anos 2010 e 2014 (oito e doze anos após os cortes seletivos) a floresta conseguiu repor grande parte do número de árvores que foram extraídas na ocasião da intervenção, apresentando, assim, um decréscimo para o recrutamento, com taxa anual de 2,56% (15,3 ind $ha^{-1} ano^{-1}$), e se mantendo em 0,99% para a mortalidade. Essa constatação infere que o fragmento de floresta continua autorregenerando-se com taxas de ingresso superiores às de mortalidade, mesmo após 12 anos da realização dos cortes seletivos. Vale salientar que o conhecimento do comportamento dessas taxas ao longo do tempo após intervenções de manejo é de fundamental importância para projeções confiáveis da estrutura futura da floresta, uma vez que essas taxas podem apresentar grande variação no tempo conforme o tipo e grau da intervenção silvicultural aplicada à floresta.

Em relação a densidade total de indivíduos, constatou-se 557 ind ha^{-1} no ano de 2006, 627 ind ha^{-1} no ano de 2010 e 654 ind ha^{-1} no ano de 2014, correspondendo a uma área basal de 23,4 $m^2 ha^{-1}$, 25,9 $m^2 ha^{-1}$ e 28,5 $m^2 ha^{-1}$ para as mesmas ocasiões de monitoramento, respectivamente. Esses valores

correspondem a um incremento médio em área basal de 0,64 $m^2 ha^{-1} ano^{-1}$ para o todo o período considerado.

Prognose da distribuição diamétrica

A matriz de probabilidade de transição elaborada para uma amplitude temporal de 4 anos (dados de 2006 e 2010) para o intervalo de classe de diâmetro de 5 cm (Tabela 1) e para o intervalo de classe de 10 cm de diâmetro (Tabela 2), apresentaram, na diagonal principal, classes diamétricas com probabilidade de 100% de permanência, o que chamamos de estados adsorventes. Para efeitos de projeção, a ocorrência desse estado inviabiliza o uso desse método na prognose futura da floresta, uma vez que não é possível estimar a real probabilidade de transição de uma árvore dessa classe de diâmetro para a classe subsequente, ocorrendo, então, um contínuo acréscimo de árvores nessa classe à medida que mais prognoses forem efetuadas.

Os estados adsorventes, segundo Pulz et al. (1999), são uma desvantagem desse método de transição, impedindo que o estado de equilíbrio da floresta seja detectado. Sua ocorrência é dada, geralmente, nas classes de maior diâmetro e está atribuído, principalmente, ao crescimento reduzido das árvores nessas classes e ao menor número de indivíduos amostrados, comum em florestas naturais heterogêneas multiâneas, o que necessitaria de uma grande área amostral para suprir a deficiência de árvores nessas classes e, assim, aumentando

Tabela 2. Matriz inicial de probabilidade de transição e mortalidade por classe de diâmetro com amplitude de 10 cm, para o período de 2006 a 2010, em Floresta Ombrófila Mista com aplicação de tratamento silvicultural com corte seletivo leve. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

| Classe de DAP (cm) | 15 | 25 | 35 | 45 | 55 | 65 | >75 |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|
| 15 | 0,847 ⁰ | | | | | | |
| 25 | 0,106 ¹ | 0,919 ⁰ | | | | | |
| 35 | | 0,059 ¹ | 0,904 ⁰ | | | | |
| 45 | | | 0,038 ¹ | 0,875 ⁰ | | | |
| 55 | | | | 0,125 ¹ | 1 ⁰ | | |
| 65 | | | | | 0 ¹ | 1 ⁰ | |
| >75 | | | | | | 0 ¹ | 1 ⁰ |
| M | 0,047 | 0,022 | 0,058 | 0 | 0 | 0 | 0 |

M = probabilidade de mortalidade; ⁰ = probabilidade de árvores que permaneceram na mesma classe de DAP; ¹ = probabilidade de árvores que avançaram para a classe de DAP seguinte.

Tabela 1. Matriz inicial de probabilidade de transição e mortalidade por classe de diâmetro com amplitude de 5 cm, para o período de 2006 a 2010, em Floresta Ombrófila Mista com aplicação de tratamento silvicultural com corte seletivo leve. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

| Classe de DAP (cm) | 12,5 | 17,5 | 22,5 | 27,5 | 32,5 | 37,5 | 42,5 | 47,5 | 52,5 | 57,5 | 62,5 | 67,5 | 72,5 | >75 |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|----------------|
| 12,5 | 0,809 ⁰ | | | | | | | | | | | | | |
| 17,5 | 0,134 ¹ | 0,762 ⁰ | | | | | | | | | | | | |
| 22,5 | 0,005 ² | 0,192 ¹ | 0,761 ⁰ | | | | | | | | | | | |
| 27,5 | | 0,008 ² | 0,207 ¹ | 0,814 ⁰ | | | | | | | | | | |
| 32,5 | | | 0 ² | 0,186 ¹ | 0,848 ⁰ | | | | | | | | | |
| 37,5 | | | | 0 ² | 0,121 ¹ | 0,789 ⁰ | | | | | | | | |
| 42,5 | | | | | 0 ² | 0,105 ¹ | 1 ⁰ | | | | | | | |
| 47,5 | | | | | | 0 ² | 0 ¹ | 0,778 ⁰ | | | | | | |
| 52,5 | | | | | | | 0 ² | 0,111 ¹ | 1 ⁰ | | | | | |
| 57,5 | | | | | | | | 0,111 ² | 0 ¹ | 1 ⁰ | | | | |
| 62,5 | | | | | | | | | 0 ² | 0 ¹ | 1 ⁰ | | | |
| 67,5 | | | | | | | | | | 0 ² | 0 ¹ | 1 ⁰ | | |
| 72,5 | | | | | | | | | | | 0 ² | 0,667 ⁰ | | |
| >75 | | | | | | | | | | | | 0 ² | 0,333 ¹ | 1 ⁰ |
| M | 0,053 | 0,038 | 0,033 | 0,000 | 0,030 | 0,105 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

M = probabilidade de mortalidade; ⁰ = probabilidade de árvores que permaneceram na mesma classe de DAP; ¹ = probabilidade de árvores que avançaram para a classe de DAP seguinte; ² = probabilidade de árvores que avançaram duas classes de DAP.

as chances de ocorrer passagem de árvores entre as classes diamétricas superiores.

Nesse sentido, quando não se dispõe de uma grande massa de dados, o método de Razão de Movimentação apresenta vantagens em relação à Matriz de Transição. As prognoses realizadas pelo método de Razão de Movimentação estão apresentadas na Tabela 3 para amplitude de 5 cm de diâmetro e na Tabela 4 para amplitude diamétrica de 10 cm. Em ambos os casos se utilizou o incremento periódico médio por classe de diâmetro (IPMd) no período compreendido entre quatro e oito anos após os cortes seletivos (2006 a 2010) para projeção da distribuição de frequência na ocasião de 12 anos após as intervenções (2014).

Em florestas submetidas à exploração florestal e monitoradas por meio de parcelas permanentes, Vasconcelos et al. (2009) salientam que um período entre 5 e 10 anos -quando ocorre uma estabilização do comportamento em termos de recrutamento e mortalidade - deve ser aguardado para projeções mais confiáveis. Segundo os mesmos autores, logo após a abertura da clareira, decorrente da exploração, o processo dinâmico desse ambiente torna-se acelerado nos primeiros anos, principalmente, devido a mudanças bruscas em termos de quantidade e qualidade de luz, espaço, processo de regeneração de clareiras, competição e mortalidade causadas

por danos decorrentes da exploração. Nessa fase, ocorre então aumento das taxas de recrutamento e crescimento das árvores remanescentes devido ao aumento da disponibilidade de luz e diminuição da competição decorrente da intervenção silvicultural (Souza et al., 2015; Ávila et al., 2017). Contudo esses efeitos não perduram à longo prazo na floresta, uma vez que após alguns anos passados da exploração, os espaços vão sendo ocupados por novos indivíduos e, consequentemente, a competição é reestabelecida.

Sendo assim, o conhecimento inicial da dinâmica de crescimento após intervenções controladas de manejo é de extrema importância pois fornece a tendência de desenvolvimento da floresta com o passar do tempo, auxiliando, assim, o silvicultor na utilização de dados confiáveis na prognose futura da distribuição diamétrica. Nos dados observados a campo no presente estudo, no período de 2010-2014 (oito e doze anos após os cortes seletivos) observou-se uma redução de cerca de 30% no número de indivíduos recrutados em relação ao período de 2006-2010 (quatro a oito anos após os cortes seletivos), período esse em que a dinâmica de crescimento foi mais intensa.

Em decorrência dessas constatações, para projeções realizadas pelo método de Matriz de Transição e Razão de Movimentação para o ano de 2014 (t+1), adicionou-se ao

Tabela 3. Prognose da distribuição diamétrica para o ano de 2014 pelo método de Razão de Movimentação com intervalo de classe de 5 cm, em Floresta Ombrófila Mista com aplicação de tratamento silvicultural com corte seletivo leve. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

| CC (cm) | FO 2010 (Árv ha ⁻¹) | IPMd (cm) | RM | Movimentação (%) | | Movimentação (Árv ha ⁻¹) | | | M | I (Árv ha ⁻¹) | FE 2014 |
|------------|------------------------------------|--------------|-------|------------------|-------|--------------------------------------|-------|--------|----|------------------------------|---------|
| | | | | 0 | (+1) | 0 | (+1) | Soma | | | |
| 12,5 | 260 | 0,85 | 17,09 | 82,91 | 17,09 | 215,57 | 44,43 | 215,57 | 11 | 63 | 267,6 |
| 17,5 | 119 | 1,18 | 23,66 | 76,34 | 23,66 | 90,85 | 28,15 | 135,28 | 5 | 1 | 131,2 |
| 22,5 | 105 | 1,38 | 27,57 | 72,43 | 27,57 | 76,05 | 28,95 | 104,2 | 3 | 0 | 101,2 |
| 27,5 | 55 | 1,34 | 26,85 | 73,15 | 26,85 | 40,23 | 14,77 | 69,19 | 0 | 0 | 69,2 |
| 32,5 | 36 | 1,87 | 37,43 | 62,57 | 37,43 | 22,53 | 13,47 | 37,29 | 1 | 0 | 36,3 |
| 37,5 | 19 | 1,47 | 29,39 | 70,61 | 29,39 | 13,42 | 5,58 | 26,89 | 2 | 0 | 24,9 |
| 42,5 | 9 | 1,30 | 26,00 | 74,00 | 26,00 | 6,66 | 2,34 | 12,24 | 0 | 0 | 12,2 |
| 47,5 | 7 | 1,21 | 24,24 | 75,76 | 24,24 | 5,3 | 1,7 | 7,64 | 0 | 0 | 7,6 |
| 52,5 | 5 | 2,28 | 45,58 | 54,42 | 45,58 | 2,72 | 2,28 | 4,42 | 0 | 0 | 4,4 |
| 57,5 | 3 | 1,77 | 35,35 | 64,65 | 35,35 | 1,94 | 1,06 | 4,22 | 0 | 0 | 4,2 |
| 62,5 | 4 | 1,68 | 33,61 | 66,39 | 33,61 | 2,66 | 1,34 | 3,72 | 0 | 0 | 3,7 |
| 67,5 | 2 | 2,52 | 50,42 | 49,58 | 50,42 | 0,99 | 1,01 | 2,34 | 0 | 0 | 2,3 |
| 72,5 | 2 | 1,48 | 29,54 | 70,46 | 29,54 | 1,41 | 0,59 | 2,42 | 0 | 0 | 2,4 |
| >75 | 1 | 1,21 | 24,19 | 75,81 | 24,19 | 0,76 | 0,24 | 1,35 | 0 | 0 | 1,3 |
| Total | 627 | | | | | | | | 22 | 64 | 669 |

CC = centro de classe de DAP ; FO 2010 = frequência observada 8 anos após exploração; FE 2014 = frequência esperada 12 anos após exploração; IPMd = Incremento periódico médio em diâmetro; RM = razão de movimentação; (0) = percentagem ou número absoluto de árvores que permanecem na mesma classe de DAP ; (+1) = percentagem ou número absoluto de árvores que migram para a classe de DAP seguinte; M = mortalidade referente ao período de 2006-2010; I = ingresso referente ao período de 2006-2010; * = valor estipulado para ocorrer passagem de árvores nessa classe em longo prazo.

Tabela 4. Prognose da distribuição diamétrica para o ano de 2014 pelo método de Razão de Movimentação com intervalo de classe de 10 cm, em Floresta Ombrófila Mista com aplicação de tratamento silvicultural com corte seletivo leve. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

| CC (cm) | FO 2010 (Árv ha ⁻¹) | IPMd (cm) | RM | Movimentação (%) | | Movimentação (Árv ha ⁻¹) | | | M | I (Árv ha ⁻¹) | FE 2014 |
|------------|------------------------------------|--------------|-------|------------------|-------|--------------------------------------|-------|-------|----|------------------------------|---------|
| | | | | 0 | (+1) | 0 | (+1) | Soma | | | |
| 15 | 379 | 0,98 | 9,79 | 90,21 | 9,79 | 341,9 | 37,1 | 341,9 | 16 | 64 | 389,9 |
| 25 | 160 | 1,36 | 13,65 | 86,35 | 13,65 | 138,16 | 21,84 | 175,3 | 3 | 0 | 172,3 |
| 35 | 55 | 1,74 | 17,35 | 82,65 | 17,35 | 45,46 | 9,54 | 67,3 | 3 | 0 | 64,3 |
| 45 | 16 | 2,01 | 20,12 | 79,88 | 20,12 | 12,78 | 3,22 | 22,3 | 0 | 0 | 22,3 |
| 55 | 8 | 2,05 | 20,46 | 79,54 | 20,46 | 6,36 | 1,64 | 9,6 | 0 | 0 | 9,6 |
| 65 | 6 | 2,02 | 20,17 | 79,83 | 20,17 | 4,79 | 1,21 | 6,4 | 0 | 0 | 6,4 |
| >75 | 3 | 1,34 | 13,43 | 86,57 | 13,43 | 2,6 | 0,4 | 3,8 | 0 | 0 | 3,8 |
| Total | 627 | | | | | | | | 22 | 64 | 669 |

CC = centro de classe de DAP ; FO 2010 = frequência observada 8 anos após exploração; FE 2014 = frequência esperada 12 anos após exploração; IPMd = Incremento periódico médio em diâmetro; RM = razão de movimentação; (0) = percentagem ou número absoluto de árvores que permanecem na mesma classe de DAP ; (+1) = percentagem ou número absoluto de árvores que migram para a classe de DAP seguinte; M = mortalidade referente ao período de 2006-2010; I = ingresso referente ao período de 2006-2010; * = valor estipulado para ocorrer passagem de árvores nessa classe em longo prazo.

modelo um fator de redução do recrutamento de 0,7, referente à taxa de decréscimo devido ao desenvolvimento da floresta com o passar do tempo após os cortes seletivos e, assim, menor o número de indivíduos que são recrutados.

A comparação da distribuição diamétrica da frequência observada e estimada pelos métodos de projeção analisados para o ano de 2014 (Tabela 5) evidenciou que, de maneira geral, ambos os métodos apresentaram valores estimados do número total de indivíduos muito próximos aos valores reais, ocorrendo uma ligeira superestimativa, na ordem de 2,3% para a Razão de Movimentação e de 1,8% para a Matriz de Transição, independente da amplitude diamétrica considerada.

As maiores diferenças entre valores observados e projetados pelos métodos testados ocorreram na primeira classe de diâmetro quando considerada a amplitude diamétrica de 5 cm. Já para amplitude de diâmetro de 10 cm, verificaram-se valores próximos aos observados com uma pequena superestimativa para a primeira e terceira classe de diâmetro na Razão de Movimentação e na segunda classe de diâmetro para a Matriz de Transição. Maiores discrepâncias nas primeiras classes de diâmetro também foram observadas por Ebling et al. (2012), os quais as atribuem ao fato de serem encontradas as maiores frequências de indivíduos e a dinâmica florestal ser mais intensa nessas classes. Somam-se ainda, segundo os mesmos autores, as propriedades Markovianas, que podem interferir nas projeções potencializando os erros de estimativas.

Pelo teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (K-S), na amplitude de classe de 5 cm, o valor de D_{calc} , obtido pela máxima diferença entre a frequência observada acumulada e a frequência estimada acumulada, dividida pelo número de observações, não apresentou significância para ambos os métodos de projeção, com valor de $D_{\text{calc}} = 0,0254$ para a Razão de Movimentação e $D_{\text{calc}} = 0,0349$ para a Matriz de Transição, inferiores ao valor D_{tabelar} igual a 0,0532, para $\alpha = 0,05$ (Tabela 5). Esta mesma constatação foi observada para a amplitude de

Tabela 5. Distribuição diamétrica do número de árvores observadas e estimadas pelos métodos de Razão de Movimentação e Matriz de Transição para o ano de 2014 e valores do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, para amplitudes diamétricas de 5 cm e 10 cm, em Floresta Ombrófila Mista com aplicação de tratamento silvicultural com corte seletivo leve. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

| CC | FO 2014 | FE RM 2014 | FE MT 2014 | CC | FO 2014 | FE RM 2014 | FE MT 2014 |
|--------|------------|---------------|---------------|--------|------------|---------------|---------------|
| 12,5 | 256,0 | 268,3 | 273,9 | 15 | 384 | 390 | 385 |
| 17,5 | 128,0 | 131,3 | 133,3 | 25 | 170 | 172 | 187 |
| 22,5 | 105,0 | 101,2 | 98,9 | 35 | 59 | 64 | 59 |
| 27,5 | 65,0 | 69,2 | 65,6 | 45 | 21 | 22 | 16 |
| 32,5 | 38,0 | 36,3 | 40,8 | 55 | 11 | 10 | 10 |
| 37,5 | 23,0 | 24,9 | 19,4 | 65 | 5 | 6 | 6 |
| 42,5 | 14,0 | 12,2 | 11,0 | >70 | 4 | 4 | 3 |
| 47,5 | 5,0 | 7,6 | 5,4 | | | | |
| 52,5 | 6,0 | 4,4 | 5,8 | | | | |
| 57,5 | 5,0 | 4,2 | 3,8 | | | | |
| 62,5 | 3,0 | 3,7 | 4,0 | | | | |
| 67,5 | 2,0 | 2,3 | 2,0 | | | | |
| 72,5 | 2,0 | 2,4 | 1,3 | | | | |
| >75 | 2,0 | 1,3 | 0,7 | | | | |
| Total | 654 | 669 | 666 | Total | 654 | 669 | 667 |
| D calc | 0,0254 | 0,0349 | | D calc | 0,0227 | 0,0280 | |

CC = centro de classe de DAP ; FO = frequência observada; FE RM = frequência estimada pelo método de Razão de Movimentação; FE MT = frequência estimada pelo método de Matriz de Transição.

classe de 10 cm, em que o teste K-S acusou valor de $D_{\text{calc}} = 0,0227$ para a Razão de Movimentação e $D_{\text{calc}} = 0,0280$ para a Matriz de Transição, inferiores ao valor $D_{\text{tabelar}} = 0,0532$, para $\alpha = 0,05$, aceitando-se assim a hipótese de nulidade, indicando que as frequências observadas e estimadas não diferem estatisticamente.

Dessa forma, pode-se inferir que o período temporal de quatro anos utilizado para realizar as projeções no presente estudo e os dois métodos de projeção (Matriz de Transição e Razão de Movimentação), com ambas as amplitudes de classe diamétrica (5 e 10 cm), mostraram-se eficientes para prognosticar o número de árvores por classe de diâmetro em floresta com araucária após exploração seletiva de madeira. Entre os métodos de projeção e amplitudes diamétricas analisados, o de Razão de Movimentação com amplitude de diâmetro de 10 cm pode ser considerado como o mais preciso, uma vez que apresentou o menor valor de D_{calc} , além de não possuir as limitações da Matriz de Transição, como os estados adsorventes.

Resultados semelhantes aos do presente estudo já foram observados em outros trabalhos realizados em florestas com araucária no Sul do Brasil, contudo nenhum desses trabalhos avaliou a eficiência de projeções após exploração seletiva de madeira. Destaca-se o trabalho desenvolvido por Ebling et al. (2012) que ao avaliarem a acuracidade das projeções diamétricas na Floresta Ombrófila Mista da FLONA de São Francisco de Paula, RS, empregando os métodos de Matriz de Transição e Razão de Movimentação, em diferentes amplitudes temporais e de classes diamétricas, concluíram que as projeções realizadas mostraram eficiência para descrever a estrutura futura da floresta. Concluíram ainda que o método de Razão de Movimentação, com amplitude temporal de 4 anos, associada à amplitude de classe diamétrica de 5 cm, apresentou resultado mais acurado, superestimando em 1,7% o número total de indivíduos da floresta.

No estado do Paraná, na FLONA de Iratí, Stepka et al. (2010) observaram pequena vantagem do método de Razão de Movimentação em relação ao de Matriz de Transição, tendo ambos apresentado resultados satisfatórios. Já Dalla Lana et al. (2015) em uma floresta com araucária em São João do Triunfo, testaram os mesmos métodos de projeção em diferentes amplitudes temporais e verificaram estimativas confiáveis apenas para a amplitude temporal de 2 anos. Os mesmos autores salientam ainda que a diferença entre cada prognose está intimamente ligada à tipologia florestal, ficando cada projeção condicionada ao ritmo de crescimento da floresta e aos fatores ambientais que a influenciam dentro da amplitude temporal avaliada.

Após determinado o melhor método de projeção e amplitude diamétrica (Razão de Movimentação com amplitude de classe de diâmetro de 10 cm), foi realizada a projeção do número de indivíduos e da área basal por classe de diâmetro para um período de 16 anos (4 projeções). Para tanto, utilizaram-se os dados observados dos anos de 2010 e 2014 (oito e doze anos após os cortes seletivos) para obtenção do incremento periódico médio em diâmetro em cada classe (IPMd), além dos valores absolutos de recrutamento e mortalidade nesse período. Essa análise teve por finalidade demonstrar a evolução da floresta ao

Tabela 6. Prognose da distribuição diamétrica para o ano de 2018 pelo método de Razão de Movimentação com intervalo de classe de 10 cm, em Floresta Ombrófila Mista com aplicação de tratamento silvicultural com corte seletivo leve. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

| CC (cm) | FO 2014 (Árv ha ⁻¹) | IPMd (cm) | RM | Movimentação (%) (0) | Movimentação (%) (+1) | Movimentação (Árv ha ⁻¹) (0) | Movimentação (Árv ha ⁻¹) (+1) | M Soma | I (Árv ha ⁻¹) | FE 2018 | |
|------------|------------------------------------|--------------|-------|-------------------------|--------------------------|---|--|-----------|------------------------------|---------|-------|
| 15 | 384 | 0,78 | 7,83 | 92,17 | 7,83 | 353,9 | 30,1 | 353,9 | 17 | 51 | 387,9 |
| 25 | 170 | 1,08 | 10,82 | 89,18 | 10,82 | 151,6 | 18,4 | 181,7 | 4 | 0 | 177,7 |
| 35 | 59 | 1,37 | 13,73 | 86,27 | 13,73 | 50,9 | 8,1 | 69,3 | 2 | 0 | 67,3 |
| 45 | 21 | 1,64 | 16,40 | 83,60 | 16,40 | 17,6 | 3,4 | 25,7 | 1 | 0 | 24,7 |
| 55 | 11 | 1,44 | 14,44 | 85,56 | 14,44 | 9,4 | 1,6 | 12,9 | 1 | 0 | 11,9 |
| 65 | 5 | 1,30 | 12,96 | 87,04 | 12,96 | 4,4 | 0,6 | 5,9 | 0 | 0 | 5,9 |
| 75 | 4 | 1,17 | 11,69 | 88,31 | 11,69 | 3,5 | 0,5 | 4,2 | 0 | 0 | 4,2 |
| >80 | 0 | 0,8 * | 8,00 | 92,00 | 8,00 | 0 | 0 | 0,5 | 0 | 0 | 0,5 |
| Total | 654 | | | | | | | | | | 680 |

CC = centro de classe de DAP ; FO 2014 = frequência observada 12 anos após exploração; FE 2018 = frequência esperada 16 anos após exploração; IPMd = Incremento periódico médio em diâmetro; RM = razão de movimentação; (0) = percentagem ou número absoluto de árvores que permanecem na mesma classe de DAP ; (+1) = percentagem ou número absoluto de árvores que migram para a classe de DAP seguinte; M = mortalidade referente ao período de 2010-2014; I = ingresso referente ao período de 2010-2014; * = valor estipulado para ocorrer passagem de árvores nessa classe em longo prazo.

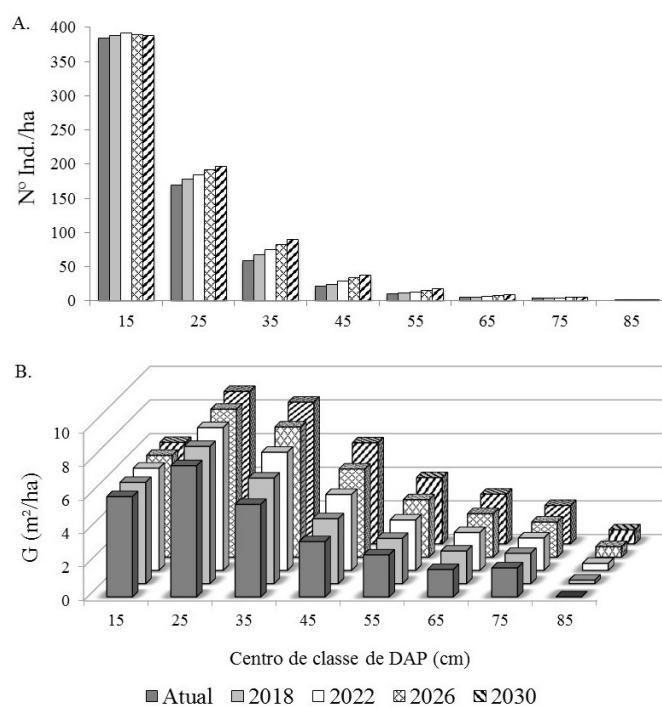
longo do tempo após a realização dos cortes seletivos, sendo os dados utilizados e a projeção para o primeiro período ($t+1$) apresentada na Tabela 6.

Para a realização das projeções em longo prazo, além de um fator de redução no recrutamento, foi considerado também redução nas taxas de incremento diamétrico com o passar do tempo após a aplicação dos cortes seletivos na floresta com araucária do presente estudo. Esse fator de redução é aceitável incluir no modelo, uma vez que o crescimento das árvores é afetado diretamente por inúmeros fatores. Dentre os quais, Schneider & Schneider (2008), citam a disponibilidade de luz, temperatura, água, nutrientes, CO_2 e conteúdo de clorofila, sendo que a disponibilidade de cada um desses elementos para cada árvore e consequentemente para cada espécie depende da concorrência que ocorre dentro da floresta. Logo, para as projeções superiores ao período de 12 anos após as intervenções de intensidade leve, aplicou-se um fator de redução de 20% no recrutamento e no incremento em diâmetro, assumindo-se que os processos dinâmicos da floresta em estudo tendem a diminuírem e tornarem-se estáveis com o passar do tempo após os cortes seletivos, o que irá proporcionar projeções mais confiáveis e precisas em longo prazo.

A evolução do número de árvores e área basal por classe de diâmetro para os quatro períodos de simulação (16 anos) projeta que a densidade total de árvores alcançará 748 árv ha⁻¹ no ano de 2030 (aumento de 94 ind ha⁻¹ em relação ao atual), apresentando tendência de estabilização na primeira classe de diâmetro e de aumento nas demais classes com o passar do tempo (Figura 2A). A mesma constatação também foi observada para a distribuição diamétrica da área basal entre as projeções (Figura 2B).

A projeção da área basal resultou em uma perspectiva de crescimento para os próximos anos, passando de 28,41 m² ha⁻¹ em 2014 para 39,50 m² ha⁻¹ em 2030, aumento de 11,09 m² ha⁻¹, equivalendo a um incremento médio de 0,69 m² ha⁻¹ ano⁻¹. Esse valor assemelha-se ao de 0,63 m² ha⁻¹ ano⁻¹ observado na avaliação do tratamento com corte seletivo de intensidade leve para o período entre quatro e treze anos após às intervenções, indicando que a floresta manterá o crescimento com taxas elevadas ao longo do tempo.

Embora o incremento em área basal estimado pelas projeções no presente estudo encontra-se acima do valor médio de 0,43 m² ha⁻¹ ano⁻¹ encontrado por Figueiredo Filho et al.



FO = frequência observada; FE = frequência esperada; G = área basal; 2014, 2018, 2022, 2026 e 2030 = 12, 16, 20, 24 e 28 anos após a aplicação dos cortes seletivos de intensidade leve.

Figura 2. Evolução do número individuos (A) e área basal (B), por classe de diâmetro, para um período de simulação de 16 anos, em Floresta Ombrófila Mista com aplicação de tratamento silvicultural com corte seletivo leve. Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

(2010) ao comparar diversos estudos no Sul do Brasil, pode-se considerá-lo como aceitável quando se trata de florestas com intervenções controladas de manejo e, assim, maiores taxas de crescimento são esperadas. Valores próximos ao do presente estudo já foram constatados, merecendo destaque o valor de 0,71 m² ha⁻¹ ano⁻¹ verificado por Durigan (1999) no Paraná e o de 0,64 m² ha⁻¹ ano⁻¹ obtido por Müller et al. (2014) ao verificar uma área basal variando de 36,19 a 37,47 m² ha⁻¹ entre os anos de 2010 e 2012 na FLONA de Passo Fundo, RS, região essa próxima ao local do presente estudo.

Diante das projeções realizadas, pode-se constatar que a floresta com araucária da Fazenda Tupi possui potencial para aplicação de um plano de manejo com bases sustentadas no futuro, uma vez que se estima que o número de árvores ha⁻¹ nas classes de diâmetro acima de 50 cm (diâmetro estipulado como limite comercial), passará das atuais 20 para 33 árvores

ha⁻¹, após 16 anos. Além disso, as projeções efetuadas na floresta remanescente fornecem importantes dados para a tomada de decisão para o silvicultor prescrever o momento de uma intervenção de manejo ou, até mesmo, de uma nova intervenção silvicultural objetivando a condução da floresta à uma estrutura mais produtiva no futuro.

Conclusões

Os modelos de Matriz de Transição e Razão de Movimentação mostraram-se eficientes na prognose da distribuição diamétrica em Floresta Ombrófila Mista após tratamento silvicultural de intensidade leve (redução de 20-30% da área basal total).

O método da Razão de Movimentação, com amplitude de classe de diâmetro de 10 cm, apresentou maior acuracidade, mostrando-se uma ferramenta importante para verificar as tendências que as florestas atuais apresentarão sobre uma perspectiva futura de crescimento e produção, podendo auxiliar no planejamento de intervenções de manejo ou de novos refinamentos a serem realizados na floresta, como forma de aumentar seu valor silvicultural.

Literatura Citada

- Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Austragésilo, S.L.; Ferreira, R.L.C.; Silva, J.A.A. da; Souza, A.L. de; Meunier, I.M.J.; Santos, E.S. Comparação de métodos de prognose da estrutura diamétrica de uma Floresta Estacional Semidecidual Secundária. *Revista Árvore*, v. 28, n. 2, p. 227-232, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622004000200009>.
- Ávila, A.L. de; Schwartz, G.; Ruschel, A.R.; Lopes, J.C.; Silva, J.N.M.; Carvalho, J.O.P de; Dormann, C.F.; Mazzei, L.; Soares, M.H.M.; Bauhus, J. Recruitment, growth and recovery of commercial tree species over 30 years following logging and thinning in a tropical rain forest. *Forest Ecology and Management*, v. 385, p. 225-235, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.11.039>.
- Borsoi, G.A. Subsídios para o manejo de uma Floresta Ombrófila Mista em estágio avançado de regeneração natural. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2004. 163p. Tese Doutorado. http://cascavel.ufsm.br/tede//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=594. 03 Jan. 2017.
- Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução CONAMA n. 33, de 7 de dezembro de 1994. Define estágios sucessionais das formações vegetais que ocorrem na região da Mata Atlântica do Estado do Rio Grande do Sul, visando viabilizar critérios, normas e procedimentos para o manejo, utilização racional e conservação da vegetação natural. *Diário Oficial da União*, n. 248, Seção 1, p. 21352-21353, 1994.
- Braz, E.M.; Schneider, P.R.; Mattos, P.P. de; Thaines, F.; Selle, G.L.; Oliveira, M.F de; Oliveira, L.C. Manejo da estrutura diamétrica remanescente de florestas tropicais. *Ciência Florestal*, v. 22, n. 4, p. 787-794, 2012. <https://doi.org/10.5902/198050987559>.
- Buongiorno J, Michie B.R.A. A matrix model of uneven-aged forest management. *Forest Science*, v. 26, n. 4, p. 609-625, 1980.
- Callegaro, R.M.; Andrzejewski, A.; Longhi, S.J., Longhi, R.V.; Biali, L.J. Composição das categorias sucessionais na estrutura horizontal, vertical e diamétrica de uma Floresta Ombrófila Mista Montana. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.11, n.4, p.350-358, 2016. <https://doi.org/10.5039/agraria.v11i4a5406>.
- Dalla Lana, M.; Netto, S.P.; Dalla Corte, A.P.; Sanquetta, C.R.; Ebling, A.A. Prognose da Estrutura Diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. *Floresta e Ambiente*, v. 22, n. 1, p. 71-78, 2015. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.072914>.
- Daniel, R.F.; Burkhardt, H.E. An integrated system of forest stand models. *Forest Ecology and Management*, v. 23, n. 2-3, p. 159-177, 1988. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(88\)90080-1](https://doi.org/10.1016/0378-1127(88)90080-1).
- Durigan, M.E. Florística, dinâmica e análise proteica de uma Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo-PR. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1999. 125p. Dissertação Mestrado. <http://hdl.handle.net/1884/25170>. 02 Jan. 2017.
- Ebling, A.A.; Netto, S.P.; Watzlawick, L.F.; Miranda, R.O.V. de; Abrão, S.F. Ecologia e projeção diamétrica de três grupos arbóreos em remanescente de Floresta Ombrófila Mista em São Francisco de Paula, RS. *Floresta*, v. 43, n. 2, p. 261-270, 2013. <https://doi.org/10.5380/rf.v43i2.28604>.
- Ebling, A.A.; Watzlawick, L.F.; Rodrigues, A.L.; Longhi, S.J.; Longhi, R.V.; Abrão, S.F. Acuracidade da distribuição diamétrica entre métodos de projeção em Floresta Ombrófila Mista. *Ciência Rural*, v. 42, n. 6, p. 1020-1026, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012000600011>.
- Figueiredo Filho, A.; Dias, A.N.; Stepka, T.F.; Sawczuk, A.R. Crescimento, mortalidade, ingresso e distribuição diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. *Floresta*, v. 40, n. 4, p. 763-776, 2010. <https://doi.org/10.5380/rf.v40i4.20328>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Manual técnico da vegetação brasileira. Rio de Janeiro-RJ: IBGE, 2012. 274p.
- Longhi, R.V. Ordenamento e condução da produção em Floresta Ombrófila Mista no estado do Rio Grande do Sul. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2016. 148p. Tese Doutorado. http://cascavel.ufsm.br/tede//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=8295. 21 Dez. 2016.
- Meyer, H.A. Structure, growth, and drain in balanced uneven-aged forests. *Journal of Forestry*, v.50, p. 85-92, 1952.
- Müller, A.L.; Dalmago, G.A.; Fernandes, J.M.C.; Cunha, G.R. da; Santi, A.; Kovaleski, S.; Bolis, L.M.; Schweig, E.; Fochesatto, E. Crescimento e acúmulo de biomassa em Floresta Ombrófila Mista no Sul do Brasil. *Revista Árvore*, v. 38, n. 2, p. 221-231, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000200002>.
- Nutto, L. Manejo do crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. baseado na árvore individual. *Ciência Florestal*, v.11, n.2, p.9-25, 2001. <https://doi.org/10.5902/198050981651>.
- Pulz, F.A.; Scolforo, J.R.S.; Oliveira, A.D. de; Mello, J.M. de; Oliveira Filho, A.T. de; Acuracidade da predição da distribuição diamétrica de uma floresta inequânea com a matriz de transição. *Cerne*, v. 5, n. 1, p. 1-14, 1999. <http://prof.icb.ufmg.br/treatlan/Downloads/a55.pdf>. 15 Dez. 2015.

- Sanquetta, C.R.; Brena, D.A.; Angelo, H. Mendes, J.B. 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. <http://coral.ufsm.br/cienciaflorestal/artigos/v6n1/art7v6n1.pdf>. 10 Mar. 2017.
- Schneider, P.R.; Schneider, P.S.P. Introdução ao manejo florestal. 2.ed. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008. 566 p.
- Schneider, P.R.; Schneider, P.S.P.; Souza, C.A.M. Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal. 2. Ed. Santa Maria: UFSM, CEPEF, 2009. 236p.
- Schneider, P.R.; Finger, C.A.G. Manejo sustentado de florestas inequias heterogêneas. Santa Maria: CEPEF, 2000. 195p.
- Scolforo, J.R.S.; Pultz, F.A.; Melo, J.M. Modelagem da produção, idade das florestas nativas, distribuição espacial das espécies e análise estrutural. In: Scolforo, J.R. (Org.). Manejo Florestal. Lavras-MG: FAEPE, 1998. Cap. 5, p.189-246.
- Souza, D.V.; Carvalho, J.O.P. de; Mendes, F.S.; Melo, L.O.; Silva, J.N.M.; Jardim, F.C.S. Crescimento de espécies arbóreas em uma floresta natural de terra firme após a colheita de madeira e tratamentos silviculturais, no município de Paragominas, Pará, Brasil. *Ciência Florestal*, v. 25, n. 4, p. 873-883, 2015. <https://doi.org/10.5902/1980509820585>.
- Stepka, T.F.; Dias, A.N.; Figueiredo Filho, A. Machado, S.A.; Sawczuk, A.R. Prognose da estrutura diamétrica de uma Floresta Ombrófila Mista com os métodos razão de movimentos e matriz de transição. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 30, n. 64, p. 327-335, 2010. <https://doi.org/10.4336/2010.pfb.30.64.327>.
- Streck, E.V.; Kämpf, N.; Dalmolin, R.S.D.; Klamt, E.; Nascimento, P.C.; Schneider, P.; Giasson, E.; Pinto, L.F.S. Solos do Rio Grande do Sul. 2.ed. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2008. 222p.
- Teixeira, L.M.; Chambers, J.Q.; Silva, A.R.; Lima, A.J.N.; Carneiro, V.M.C.; Santos, J. dos; Higuchi, N. Projeção da dinâmica da floresta natural de Terra-firme, região de Manaus-AM, com o uso da cadeia de transição probabilística de Markov. *Acta Amazonica*, v. 37, n. 3, p. 377-384, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672007000300009>.
- Vanclay, J.K. Modelling Forest growth and yield: applications to mixed tropical forests. Wallingford: CAB International, 1994. 312p.
- Vasconcelos, S.S.; Higuchi, N.; Oliveira, M.V.N. Projeção da distribuição diamétrica de uma floresta explorada seletivamente na Amazônia Ocidental. *Acta Amazonica*, v. 39, n. 1, p. 71-80, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672009000100007>.