

DINÂMICA E PROGNOSE DA ESTRUTURA DIAMÉTRICA DE *Cedrela fissilis* Vell. EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, NO PARANÁ

DYNAMICS AND PROGNOSIS OF THE DIAMETRIC STRUCTURE OF Cedrela fissilis Vell. IN MIXED OMBROPHYOUS FOREST, IN PARANÁ

Gustavo Eugênio Alvarenga Brizola¹, Ximena Mendes de Oliveira², Isabel Homczinski³, Andrea Nogueira Dias⁴, Fabiane Aparecida de Souza Retslaff⁵, Afonso Figueiredo Filho⁶

¹Universidade Estadual do Centro-Oeste, Iraty, Paraná, Brasil - gustavoeabrizola@gmail.com

² Universidade Federal Rural da Amazônia, Parauapebas, Pará, Brasil – ximena@ufra.edu.br

³ ¹Universidade Estadual do Centro-Oeste, Iraty, Paraná, Brasil - isabelbelhom@hotmail.com

⁴ ¹Universidade Estadual do Centro-Oeste, Iraty, Paraná, Brasil - andias@unicentro.br

⁵ ¹Universidade Estadual do Centro-Oeste, Iraty, Paraná, Brasil - faretslaff@gmail.com

⁶ ¹Universidade Estadual do Centro-Oeste, Iraty, Paraná, Brasil - afiffilho@gmail.com

RESUMO

Cedrela fissilis é geralmente encontrada com abundância entre as espécies presentes na Floresta Ombrófila Mista. O objetivo do estudo foi avaliar a dinâmica dessa espécie e utilizar a Matriz de Transição e a Razão de Movimentos para a prognose da distribuição diamétrica. Foram utilizadas 25 parcelas permanentes de 1 ha cada, instaladas em 2002 e remetidas a cada 3 anos, na Floresta Nacional de Iraty. A dinâmica foi avaliada com o incremento em diâmetro e em área basal, ingresso e mortalidade. A predição da distribuição diamétrica foi realizada com duas amplitudes de classes (5 e 10 cm) entre os períodos de 2011 a 2017. O teste Kolmogorov-Smirnov ($\alpha=0,05$) e o índice de Reynolds foram utilizados para avaliar a aderência da predição e prosseguir com a projeção para os próximos 12 anos. A espécie apresentou maior Incremento Periódico Anual em diâmetro e em área basal nas classes entre 40 cm e 60 cm e maior taxa de ingresso em relação à taxa de mortalidade. Todas as predições apresentaram aderência com a estrutura diamétrica observada em 2017 e as projeções foram realizadas para os 12 anos seguintes (2020, 2023 e 2026) para os dois métodos de projeção e para as duas classes de diâmetro analisadas. Concluiu-se que a espécie estudada apresentou boa adaptação em relação à dinâmica no período de 6 anos avaliado e no período projetado dos próximos 12 anos.

PALAVRAS-CHAVE: Floresta com Araucária, Incremento em diâmetro e área basal, Matriz de Transição, Razão de Movimentos.

ABSTRACT

Cedrela fissilis is generally found in abundance among the species present in the Mixed Ombrophylous Forest. The aim of this study was to evaluate the dynamics of this species and use the Transition-Matrix and Movement Ratio for the prognosis of diameter distribution. 25 permanent plots of 1 ha each were used, installed in 2002 and remeasured every 3 years, in the Iraty National Forest. The dynamics were evaluated with the increase in diameter and basal area, ingress and mortality. The prediction of the diameter distribution was carried out with two class amplitudes (5 and 10 cm) between the periods from 2011 to 2017. The Kolmogorov-Smirnov test ($\alpha=0.05$) and the Reynolds index were used to evaluate the adhesion of the prediction and continue with the projection for the next 12 years. The species presented a greater Annual Periodic Increase in diameter and basal area in the classes between 40 cm and 60 cm and a higher entry rate in relation to the mortality rate. All predictions were in line with the diameter structure observed in 2017 and projections were made for the following 12 years (2020, 2023 and 2026) for the two projection methods and for the two diameter classes analyzed. It was concluded that the species studied showed good adaptation in relation to the dynamics in the 6-year period evaluated and in the projected period of the next 12 years.

KEYWORDS: Increment in diameter and basal area; Araucaria Forest, Transition-Matrix; Movement Ratio.

INTRODUÇÃO

As florestas tropicais desempenham um papel fundamental, fornecendo serviços ecossistêmicos e mantendo a biodiversidade vegetal (SILVA et al., 2016; BRASIL, 2021). No entanto, a intensa fragmentação dessas áreas resulta em vulnerabilidade (SCARANO & CEOTTO, 2015). A Mata Atlântica é um dos hotspots de biodiversidade mais ameaçados do Brasil, restando apenas 11,6% da cobertura vegetal natural e em estado intensamente fragmentado (SCUSSEL et al., 2020). Entre as diferentes formações do Bioma Mata Atlântica está a Floresta Ombrófila Mista (FOM), considerada uma das principais formações da região sul do Brasil (ATANAZIO et al., 2022; MILLER et al., 2023).

Dentre as espécies nativas na FOM de maior valor de importância, destacam-se *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (araucária), *Cedrela fissilis* Vell. (cedro) e *Ocotea porosa* (Nees & Mart.) Barroso (imbuia), que nos meados do século XX passaram por intensa exploração em virtude de características relacionadas à qualidade e durabilidade da madeira (CUBAS, 2015). *C. fissilis* pertence à família Meliaceae e pode chegar a 35 m de altura e 90 cm de diâmetro à 1,3 m do fuste (DAP). Sua madeira possui ampla utilização, como na construção civil, naval e aeronáutica, na produção de móveis finos e instrumentos musicais (LORENZI, 2020). A casca, um resíduo do processamento da madeira, pode ser utilizada como adsorvente no tratamento de efluentes coloridos (GEORGIN et al., 2019). A espécie também é utilizada no paisagismo urbano (THEODORO et al., 2020) e no reflorestamento para recuperação de áreas degradadas (BRUN et al., 2012). A espécie encontra-se na categoria vulnerável segundo a Lista Nacional Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção (MMA, 2014).

Estudos sobre o comportamento da espécie em seu habitat devem ser realizados a fim de obter informações relevantes para sua conservação e manejo (SILVA et al., 2012). O manejo florestal sustentável auxilia na redução do desmatamento, proporcionando a manutenção dos recursos e agregando valor à floresta conservada (VENTUROLI et al., 2015; LONGHI et al., 2017). A dinâmica de uma determinada espécie pode ser analisada a partir de informações sobre o ingresso, a mortalidade e o incremento ao longo do tempo (SCHMIDT et al., 2019). Taxas de ingresso e mortalidade auxiliam na compreensão sobre a longevidade natural da espécie. O incremento utiliza informações sobre o crescimento da espécie, considerando diferentes variáveis, como altura, diâmetro, área basal e volume (SOUZA, 2012).

Embora haja estudos publicados sobre a dinâmica de outras espécies dentro da FOM (KIERAS et al., 2018; BARBOSA et al., 2019) e dentro de outras formações florestais (SCHMIDT et al., 2019), estudos sobre a dinâmica da *C. fissilis* são escassos e de grande relevância devido à importância da espécie. Além dos estudos sobre a dinâmica, o comportamento da espécie em seu habitat também pode ser analisado de acordo com a projeção da estrutura diamétrica. Assim, o aumento do número de árvores por classe de diâmetro ao longo do tempo, auxilia no planejamento da exploração ou intervenção na floresta, na capacidade de regeneração natural e na sustentabilidade de determinada espécie (HANSON et al., 2012), uma vez que mostra como a distribuição diamétrica é alterada ao longo do tempo.

Informações sobre a estrutura diamétrica futura, podem ser obtidas com o uso de métodos de prognose da distribuição diamétrica, como a Matriz de Transição e Razão de Movimentos, que estão entre os métodos mais utilizados em florestas nativas (SOUZA et al., 2014; LANA et al., 2015; BATISTA et al., 2016; LONGHI et al., 2017; CONDE et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2020; SENS et al., 2021; GOMES et al., 2022).

A Matriz de Transição, também conhecida como cadeia de Markov, é um processo estocástico fundamentado no conceito de estado (SOUZA & SOARES, 2013). Presume-se que uma árvore localizada em uma determinada classe de diâmetro no tempo t tenha certa probabilidade de permanecer nesta classe ou de migrar para outra no tempo $t + 0$ em função de seu estado atual (LANA et al., 2015). Já a Razão de Movimentos é fundamentado na teoria de projeção das tabelas de povoamento aplicadas às florestas naturais, em que o incremento diamétrico médio por classe de diâmetro é considerado, assumindo que a distribuição dos diâmetros é uniforme dentro das classes (GOMES et al., 2022).

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a dinâmica de *C. fissilis* em Floresta Ombrófila Mista quanto ao incremento em diâmetro, área basal, taxas de ingresso e mortalidade e estrutura diamétrica, utilizando as técnicas de projeção Matriz de Transição e Razão de Movimentos.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo e base de dados

A área de estudo corresponde a uma área amostral de 25 hectares de Floresta Ombrófila Mista e está localizada na Floresta Nacional de Irati (FLONA de Irati), nos municípios de Fernandes Pinheiro e Teixeira Soares, no estado do Paraná ($50^{\circ}33'44,889^{\prime\prime}\text{W}$ e $25^{\circ}20'24,818^{\prime\prime}\text{S}$)

(ICMBIO, 2013).

A região apresenta o clima temperado úmido com verão temperado (Cfb) que se caracteriza por apresentar chuvas uniformemente distribuídas ao longo do ano, temperatura média máxima de 22 °C, mínima de -3°C e média de 18°C. Há ocorrência frequente de geadas severas no inverno (IBGE, 2022, ALVARES et al., 2013).

A classe de solo predominante na área é a Cambissolo (Cambissolo Háplico ta Distrófico Típico, Cambissolo Háplico ta Distrófico Léptico e Cambissolo Háplico Alítico Típico), todavia, ocorrem pequenas manchas de Latossolo

Vermelho Distrófico Típico (FIGUEIREDO FILHO, 2011).

O experimento foi instalado em 2002 e é coordenado pelo Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Campus de Irati, Paraná. 25 parcelas permanentes de 1 hectare (100 m x 100 m) foram consideradas. Cada parcela foi dividida em 4 sub-parcelas de 2.500 m² (50 m x 50 m) e cada parcela foi ainda subdividida em 5 faixas de 500 m² (10 m x 50 m). As informações sobre a localização da área de estudo, a disposição das parcelas e sub-parcelas e faixas estão representadas na Figura 1.

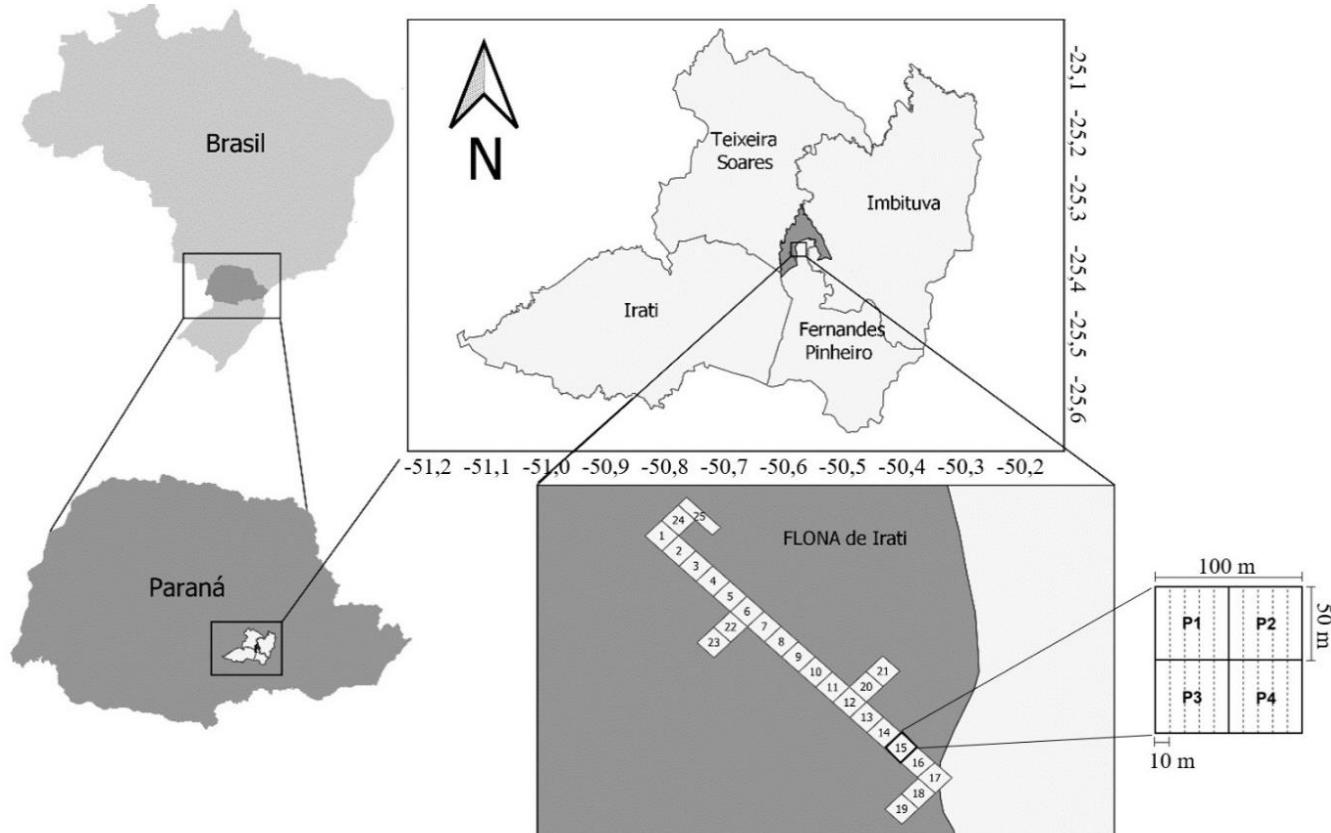


Figura 1. Localização da Floresta Nacional de Irati e descrição das parcelas permanentes de 25 hectares.

Fonte: Adaptado de Homczinski (2018)

Os dados foram coletados no inventário florestal contínuo durante 15 anos, em intervalos de 3 anos. As coletas foram realizadas em 2002, 2005, 2008, 2011, 2014 e 2017. Todos os indivíduos que atenderam o critério de inclusão do inventário de $DAP \geq 10$ cm tiveram o DAP mensurado e foram enumerados e posicionados espacialmente em um sistema cartesiano (x, y). As espécies foram identificadas em campo ou por meio de coleta de material botânico e identificação no herbário da Universidade Estadual do Centro-Oeste. Nesta pesquisa foram utilizados os dados da espécie *C. fissilis* provenientes do inventário florestal de 2011, 2014 e 2017, totalizando seis anos de monitoramento. *C. fissilis* está entre as 10

espécies com maior valor de importância na FLONA de Irati (LISBOA et al., 2018; SCHONS et al., 2020).

Dinâmica da espécie

No estudo da dinâmica da espécie, os incrementos médios em DAP e em área basal (G) foram obtidos, considerando as árvores existentes em 2011 que continuaram vivas em 2017. Foram calculados os incrementos médios para os dados agrupados em classes de DAP com 10 cm de amplitude. O incremento periódico (IP) e incremento periódico anual (IPA) foram calculados por meio das fórmulas (1) e (2), conforme Finger (1992):

$$IP = X_{2017} - X_{2011} \quad (1)$$

$$IPA = \frac{IP}{p} \quad (2)$$

Em que: IP= Incremento Periódico em DAP (cm) ou em G ($m^2.ha^{-1}$); x_{2017} = DAP ou G no final do período de crescimento avaliado (2017); x_{2011} = DAP ou G no início do período de crescimento avaliado (2011); IPA = Incremento Periódico Anual em DAP ($cm.ano^{-1}$) ou em G ($m^2.ha^{-1}.ano^{-1}$); p = intervalo entre o final e o início do período de crescimento avaliado (6 anos).

A análise do IPA em DAP foi realizada com a obtenção dos valores mínimos, médios e máximos de IPA em cada classe de diâmetro. Além disso, foram obtidos os valores de coeficiente de variação.

A taxa de ingresso (indivíduos da espécie que atingiram DAP ≥ 10 cm) e taxa de mortalidade de indivíduos da espécie foram analisadas em relação aos períodos de mensuração (2011 a 2014 e 2014 a 2017). Foram utilizadas as fórmulas (3) e (4), conforme Scolforo (1998):

$$In\% = \frac{N_{In}}{Ni} * 100 \quad (3)$$

$$M\% = \frac{Nm}{Ni} * 100 \quad (4)$$

Em que: In% = taxa de ingresso (%); N_{In} = número de árvores ingressas no período avaliado; Ni = número de árvores no início do período considerado; M% = taxa de mortalidade (%); Nm = número de árvores que morreram no período avaliado.

Predição da estrutura diamétrica

Para realizar a predição da distribuição diamétrica da *Cedrela fissilis* utilizou-se os dados dos anos de 2011 a 2014, projetando para o ano de 2017. Assim, realizou-se a comparação entre a distribuição diamétrica projetada e a distribuição diamétrica observada, obtida na medição de 2017.

Para o estudo de prognose utilizou-se os métodos de Matriz de Transição e Razão de Movimentos em duas amplitudes de classes diamétricas (5 e 10 cm). O ingresso e a mortalidade não foram modelados, sendo utilizado os dados reais destes períodos, conforme Lana et al. (2015).

Na Matriz de Transição, a estimativa da probabilidade de transição dos indivíduos em cada período considerado, foi obtida pela matriz G (5), conforme Buongiorno & Michie (1980):

$$G = \begin{array}{c|ccccccccc|c} i_1 & a_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ i_2 & b_2 & a_2 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ i_3 & c_3 & b_3 & a_3 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ i_4 & 0 & c_4 & b_4 & a_4 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & 0 & 0 & c_5 & b_5 & a_5 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots \\ i_n & m_1 & m_2 & m_3 & m_4 & m_5 & \dots & m_n \end{array} \quad (5)$$

Em que: G = matriz de probabilidade de transição; i = i-ésima classe de diâmetro; a_i = probabilidades de uma árvore viva permanecer na mesma classe diamétrica, b_i = probabilidade de uma árvore viva mudar uma classe diamétrica; c_i = probabilidade de uma árvore viva mudar duas classes diamétricas; m_i = probabilidade das árvores morrerem no período analisado.

A estrutura diamétrica da espécie no tempo futuro foi obtida por meio da multiplicação da matriz de probabilidade de transição pelo número de árvores no período atual, somado ao número de árvores ingressas (6), de acordo com Buongiorno e Michie (1980):

$$Y_{t+\Delta t} = G * Y_{it} + I_{it} \quad (6)$$

Em que: $Y_{t+\Delta t}$ = número de árvores projetadas; G = probabilidade de transição por classe diamétrica; Y_{it} = número de árvores por classe de diâmetro no período atual; I_{it} = número de árvores ingressas ou recrutadas.

No método de Razão de Movimentos, as árvores foram distribuídas uniformemente no interior das classes, no qual cada árvore cresce a uma taxa média. A proporção de árvores que passam de uma classe para outra (7) e o incremento período anual em diâmetro (8), segundo Scolforo (1998), estão representados a seguir:

$$RM = \left(\frac{IPD_j}{c} \right) 100 \quad (7)$$

$$IPD_j = \frac{\sum_{i=1}^n (DAP_{2i} - DAP_{1i})}{N} \quad (8)$$

Em que: RM = razão de movimento; IPD_j = incremento periódico anual em diâmetro da j-ésima classe de diâmetro; c = amplitude de classe de diâmetro; DAP_{1i} = DAP da i-ésima árvore na primeira medição; DAP_{2i} = DAP da i-ésima árvore na segunda medição; N = número total de árvores em cada classe diamétrica.

Avaliação dos métodos e projeção para 12 anos

A estrutura diamétrica no ano de 2017 foi projetada considerando as quatro abordagens seguintes: 1) Matriz de Transição e classes de diâmetro com amplitude de 10 cm; 2) Matriz de Transição e classes de diâmetro com amplitude de 5 cm; 3) Razão de Movimentos e classes de diâmetro com amplitude de 10 cm; 4) Razão de Movimentos e classes de diâmetro com amplitude de 5 cm.

A estrutura estimada foi comparada à estrutura observada a partir dos dados coletados no inventário florestal de 2017. Para isso, empregou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e o índice de Reynolds.

O teste K-S considera a concordância de duas distribuições cumulativas, comparando a máxima diferença entre a frequência observada acumulada e a frequência estimada acumulada. Se o ponto de máxima divergência entre as distribuições (D_{calc}) for menor ou igual

ao valor crítico tabelado (D_n) em um nível de significância de 5%, a hipótese nula (distribuições estatisticamente iguais) não é rejeitada, caso contrário, quando $D_{calc} > D_n$, a hipótese nula é rejeitada e as distribuições são consideradas estatisticamente diferentes.

As distribuições que apresentaram aderência entre a frequência observada e a frequência estimada no teste K-S, foram projetadas também, sucessivamente, para os anos de 2020, 2023, 2026 e 2029. Assim, foi possível avaliar o comportamento da espécie, na área em estudo, em relação ao número de indivíduos nos próximos 12 anos.

O índice de Reynolds (Reynolds et al., 1988) avalia o desempenho das abordagens por classe diamétrica, de modo que quanto mais próximo de zero, menor o erro. Neste estudo, o índice foi utilizado sem ponderação, considerando a soma das diferenças absolutas entre o número de indivíduos observados e estimados em cada classe de diâmetro, conforme utilizado por Qin et al. (2007).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dinâmica (incremento, ingresso e mortalidade)

Os resultados do IPA em diâmetro estão representados na Tabela 1.

Tabela 1. Incremento Periódico Anual (IPA) em diâmetro por classes de DAP, para *Cedrela fissilis* no período de 2011 e 2017 em um remanescente de Floresta Ombrófila Mista na Floresta Nacional de Iratí, no Paraná.

Classes de DAP	N (ind.ha ⁻¹)	IPA _{DAP} (cm.ano ⁻¹)				
		Mín	Máx	Méd	DP	CV(%)
10 —20	2,28	0,00	0,57	0,16	0,14	85,11
20 —30	3,28	-0,03	0,90	0,28	0,21	73,99
30 —40	4,08	0,02	0,90	0,34	0,20	59,86
40 —50	2,64	-0,16	1,23	0,41	0,25	60,83
50 —60	1,48	0,02	0,80	0,36	0,18	50,76
60 —70	0,68	0,08	0,80	0,36	0,22	50,76
≥70	0,20	0,21	1,01	0,53	0,33	62,73
*Média ponderada	-0,02	0,89	0,32	-	-	-

N: número de indivíduos por hectare que permaneceram vivos entre os anos 2011 e 2017; Mín: mínimo; Máx: máximo; Méd: média; DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação em porcentagem; *Média ponderada em relação ao N de cada classe.

Os valores negativos de incremento estão relacionados à eventuais perdas de cascas das árvores, de acordo com observações descritas no inventário florestal. De acordo com Roik (2012) existe vários fatores que influencia nos valores negativos do incremento tais como: realização ou

não da limpeza de tronco antes da medição; pequenas alterações no momento da medição; fatores ambientais no momento da medição; períodos com maior ou menor precipitação dentre outros fatores.

Embora as classes de DAP acima de 70 cm tenha, em média, maior IPA (0,53 cm.ano⁻¹), essa informação pode não expressar a realidade devido ao baixo número de indivíduos por hectare amostrado (0,2 ind.ha⁻¹). Por isso foi realizada a média ponderada do IPA em relação ao N de cada classe, resultando em um crescimento médio anual de 0,32 cm para *C. fissilis*. Esse resultado é próximo ao encontrado por Stepka et al. (2021), os autores avaliaram o IPA da *C. fissilis* em 6 municípios dos estados do sul do Brasil (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) e encontraram valores de IPA variando de 0,24 a 0,45 cm.ano⁻¹ no período analisado de 2000 a 2009.

Os resultados do IPA em G estão representados na Tabela 2.

Tabela 2. Incremento Periódico Anual (IPA) em área basal por classes de DAP, para *Cedrela fissilis* no período de 2011 e 2017 em um remanescente de Floresta Ombrófila Mista na Floresta Nacional de Iratí, no Paraná.

Classes de DAP	N (ind.ha ⁻¹)	G 2011 (m ² .ha)	G 2017 (m ² .ha)	IPA _G (m ² .ha.ano)	CV (%)
10 —20	2,28	0,0365	0,0418	0,0009	91,78
20 —30	3,28	0,1515	0,1728	0,0035	73,43
30 —40	4,08	0,3497	0,3936	0,0073	59,49
40 —50	2,64	0,3755	0,4199	0,0074	60,30
50 —60	1,48	0,3131	0,3393	0,0044	51,42
60 —70	0,68	0,1966	0,2181	0,0036	39,02
≥70	0,20	0,0882	0,0956	0,0012	59,38
Total	1,5110	1,6812	0,0284	-	-

N: número de indivíduos por hectare que permaneceram vivos entre os anos 2011 e 2017; G 2011: área basal (m².ha⁻¹) no ano de 2011; G 2017: área basal (m².ha⁻¹) no ano de 2017; IPA: incremento periódico anual em G (m².ha⁻¹.ano⁻¹); CV: coeficiente de variação (%).

Os valores de IPA em G encontrados para a *C. fissilis* foram próximos aos valores encontrados por Cavassim et al. (2022) para a espécie *Eugenia involucrata*, considerando essa mesma área experimental dentro da Flona de Iratí. Os valores também estão próximos aos verificados nas curvas de incremento em área basal para indivíduos de *C. fissilis* em remanescentes de Floresta Estacional Decidual, Floresta Ombrófila Mista e Floresta Ombrófila Densa no estado de Santa Catarina (SCHMITZ, 2022).

Nos dois períodos avaliados (2011 a 2014 e 2014 a

2017) foram observados ingressos de indivíduos de *C. fissilis*, mas apenas no período de 2014 a 2017 foi observada mortalidade de indivíduos desta espécie (Tabela 3).

Tabela 3. Acrúscimo (ingresso) e perda (mortalidade) em G ($m^2.ha^{-1}$) e indivíduos ($N.ha^{-1}$) de *Cedrela fissilis* nos períodos de 2011-2014 e 2014-2017 na Floresta Ombrófila Mista, na Floresta Nacional de Irati, no Paraná.

Período	Ingresso		Mortalidade	
	G	N	G	N
2011 a 2014	0,0003	0,04	0,0000	0,00
2014 a 2017	0,0015	0,16	0,0087	0,12
Total	0,0018	0,20	0,0087	0,12

N.: número de indivíduos em árvores. ha^{-1} ; G: área basal em $m^2.ha^{-1}$.

A G e o N de indivíduos ingressantes no período de 2014 a 2017 foi superior ao período de 2011 a 2014. Embora estes indivíduos ingressantes sejam superiores aos indivíduos mortos no período de 2011 a 2014, maior perda de G ($m^2.ha$) foi verificada, justificada pelo maior tamanho das árvores mortas em relação às árvores ingressantes.

De acordo com Salami et al. (2014), o ingresso e a mortalidade são fatores analisados no contexto da dinâmica florestal e estão associados à competição entre os indivíduos de uma floresta. Desta forma, a mortalidade de alguns indivíduos acarreta a liberação de clareiras, dando espaço para a sucessão ecológica e o desenvolvimento no estágio inicial dos indivíduos.

Esse processo é contínuo e justifica a distribuição decrescente observada em florestas inequívocas, como a Floresta Ombrófila Mista, onde o maior número de indivíduos está concentrado em classes de diâmetro menores (GOMES et al., 2022).

Portanto, pode acontecer o que foi observado nesse estudo, em que o número de indivíduos ingressantes foi superior ao número de indivíduos mortos e mesmo assim houve perda em área basal, pois, de acordo com Ribeiro et al. (2013), os indivíduos de pequeno porte contribuem pouco para o aumento da área basal, sendo sua principal função a garantia de regeneração florestal.

Além do ingresso e mortalidade, a dinâmica florestal considera o crescimento (incremento) periódico dos indivíduos. De acordo com Cubas et al. (2016), um dos fatores que afetam o incremento dos indivíduos em uma floresta é a estrutura vertical, visto que espécies dominantes têm maior acesso à luz, contribuindo para o

processo fotossintético e potencializando o seu crescimento em comparação àqueles que competem por luminosidade em estratos mais baixos. Campoe et al. (2013) mostraram como os indivíduos dominantes são mais eficientes no uso da luz solar que as árvores não dominantes, influenciando diretamente no crescimento.

Predição e projeção da estrutura diamétrica

A prognose da estrutura diamétrica pelos métodos Matriz de Transição (MT) e Razão de Movimentos (RM) no ano de 2017 foi comparada à estrutura diamétrica dos dados obtidos no inventário florestal (IF), considerando classes de DAP com amplitude de 10 cm (Figura 2a) e 5 cm (Figura 2b).

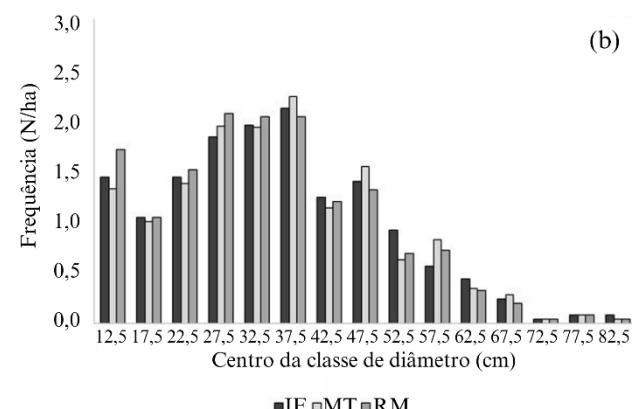
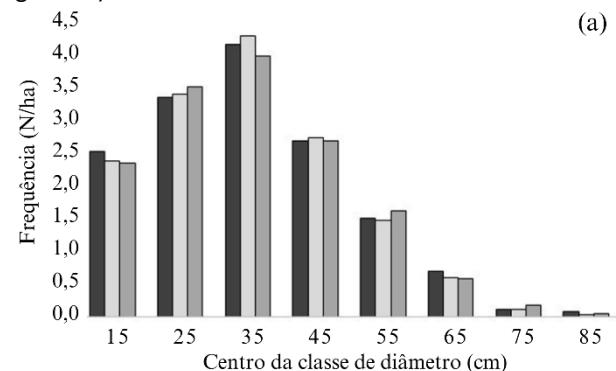


Figura 2. Frequência observada no inventário florestal (IF) e projetada pelos métodos Matriz de Transição (MT) e Razão de Movimentos (RM) no ano de 2017 de *Cedrela fissilis*, com classes de DAP com amplitude de 10 cm (a) e com amplitude de 5 cm (b).

A Tabela 4 mostra os resultados dos valores de D_{calc} do teste K-S e do índice de Reynolds para as quatro abordagens consideradas.

Tabela 4. Teste Kolmogorov-Smirnov (K-S) e índice de Reynolds, considerando os dados de *Cedrela fissilis* no ano de 2017 na Floresta Ombrófila Mista, na Floresta Nacional de Irati, no Paraná.

Método	Amplitude de classe (cm)	Teste K-S	Índice de Reynolds
Matriz de Transição	10	0,14 ^{NS}	0,52
Razão de Movimentos	5	0,29 ^{NS}	1,46
Razão de Movimentos	10	0,32 ^{NS}	0,72
Movimentos	5	0,23 ^{NS}	1,19

NS = não significativo para $\alpha = 0,05$ ($D_n=0,43$ para a amplitude de 10 cm e $D_n=0,38$ para a amplitude de 5 cm).

Na avaliação da aderência pelo teste K-S, considerando um nível de significância de $\alpha = 0,05$, a hipótese nula não foi rejeitada para os métodos Matriz de Transição e Razão de Movimentos, nas amplitudes de 10 cm e 5 cm. Isso significa que não houve diferença significativa entre os valores observados e estimados de indivíduos nas classes diamétricas em 2017. Diante disso, a prognose da distribuição diamétrica pode ser realizada pelos dois métodos, considerando as duas amplitudes diamétricas.

O índice de Reynolds mostrou que estabelecer classes com maior amplitude diamétrica contribuem para um menor erro, independentemente do método de prognose utilizado. No entanto, todas as abordagens apresentaram erros próximos a zero.

A prognose da estrutura diamétrica foi realizada para os anos de 2020, 2023, 2026 e 2029, considerando os dois métodos e as duas amplitudes diamétricas (Figuras 3 e 4). As frequências projetadas ao longo dos anos apresentaram maior variação no método de Matriz de Transição (Figura 3a e Figura 4a) em comparação ao método de Razão de Movimentos (Figura 3b e Figura 4b).

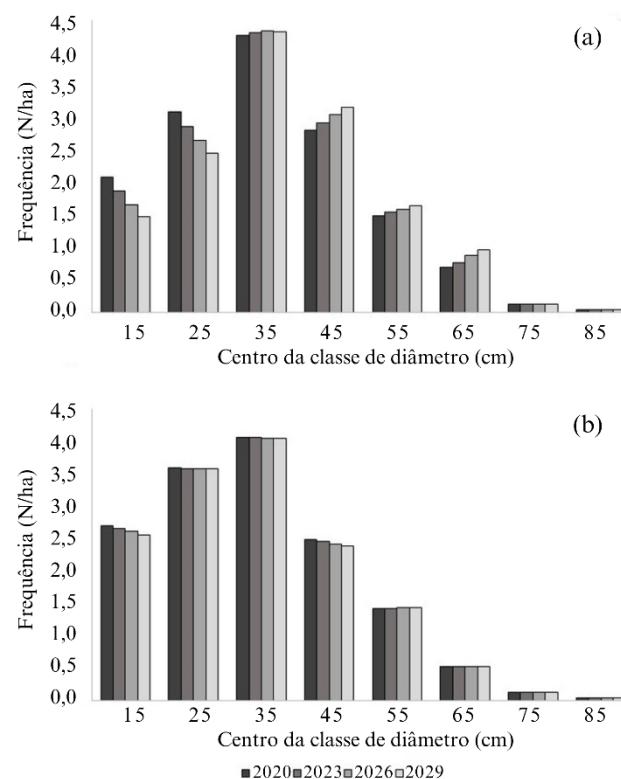


Figura 3. Frequências estimadas pelos métodos de Matriz de Transição (a) e Razão de Movimentos (b) de *Cedrela fissilis* para os anos de 2020, 2023, 2026 e 2029, com classes de DAP com amplitude de 10 cm.

Na amplitude diamétrica de 10 cm, considerando o método de Matriz de Transição (Figura 3a), as duas primeiras classes (até 40 cm) apresentaram redução no número de indivíduos na medida em que o período de projeção aumentou; da terceira à sexta classe houve aumento no número de indivíduos e nas duas últimas classes a estrutura diamétrica as projeções foram similares para os quatro cenários de prognose realizados. Resultados semelhantes foram encontrados para essa mesma amplitude diamétrica, considerando o método de Razão de Movimentos, em relação à primeira, quinta, sétima e oitava classes (Figura 3b).

Assim como observado na Figura 3a, a redução do número de indivíduos nas classes iniciais, o aumento a partir das classes intermediárias e a constância nas classes finais também foi um comportamento observado no método de Matriz de Transição, com a amplitude de 5 cm (Figura 4a) considerando-se as projeções efetivadas. A redução ocorreu até a quinta classe, o aumento ocorreu da sexta à nona classe, produzindo valores similares nas últimas três classes.

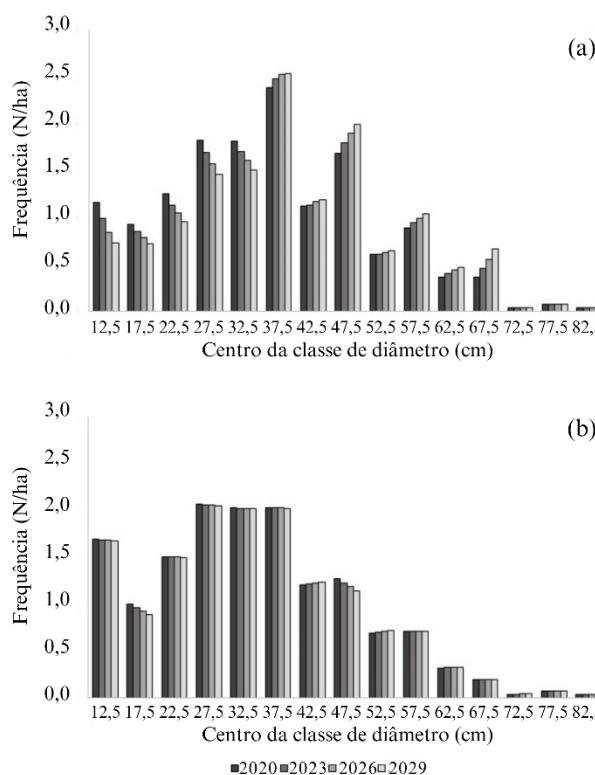


Figura 4. Frequências estimadas pelos métodos de Matriz de Transição (a) e Razão de Movimentos (b) de *Cedrela fissilis* para os anos de 2020, 2023, 2026 e 2029, com classes de DAP com amplitude de 5 cm.

O maior número de classes na amplitude de 5 cm não influenciou menor oscilação ao longo dos anos no método da Razão de Movimentos (Figura 4b). Nesta situação, mais de 70% das classes de DAP apresentaram pouca alteração quanto ao aumento ou redução do número de indivíduos ao longo dos anos, no período analisado na prognose.

Longhi et al. (2017) utilizaram dados de uma fazenda localizada no município de Nova Prata, Rio Grande do Sul, para projetar a estrutura diamétrica ao longo de 16 anos (com períodos de 4 anos). Ao comparar os valores estimados com os observados da estrutura diamétrica, o resultado mais acurado foi encontrado pelo método da Razão de Movimentos com amplitude de classe de DAP de 10 cm.

Lana et al. (2015) recomendaram o uso do método de Matriz de Transição com intervalos de classes de DAP de 10 cm e o uso do método Razão de Movimentos com intervalos de 5 ou 10 cm. Lana et al. (2015) destacaram que a probabilidade das árvores permanecerem na mesma classe de diâmetro é influenciada pela amplitude temporal. Desta forma, em amplitudes pequenas (dois e três anos), a probabilidade das árvores permanecerem na mesma classe é superior quando comparadas com às maiores amplitudes

(quatro e cinco anos).

Ebling et al. (2012) avaliaram a acuracidade das projeções diamétricas na Floresta Ombrófila Mista, empregando os métodos de Matriz de Transição e Razão de Movimentos, em diferentes amplitudes temporais e de classes diamétricas, e concluíram que as projeções realizadas mostraram eficiência para descrever a estrutura futura da floresta. Concluíram ainda que o método de Razão de Movimentos, com amplitude temporal de 4 anos, associada à amplitude de classe diamétrica de 5 cm, apresentou resultado mais acurado.

Ebling et al. (2012) ressaltaram as limitações dos dois métodos, pois as projeções dependem somente do estado que a floresta apresenta durante a remoção das parcelas permanentes do inventário que foram utilizadas na predição dos modelos.

CONCLUSÕES

As classes de diâmetro de 40 a 70 cm foram as que apresentaram maior IPA em diâmetro e área basal. A taxa de ingresso de *C. fissilis* foi superior à taxa de mortalidade, mas mesmo assim, houve perda na área basal, justificada pelo porte maior dos indivíduos mortos em relação ao porte menor das árvores que ingressaram.

As projeções da distribuição diamétrica para o ano de 2017 pelos métodos Matriz de Transição e Razão de Movimentos, comparativamente à estrutura diamétrica observada, não foram consideradas diferentes para ambas as amplitudes diamétricas testadas (5 e 10 cm), possibilitando projeção para os anos de 2020, 2023, 2026 e 2029.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Campus de Irati, Paraná.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. et al. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

ATANAZIO, K. A. et al. Modelagem das relações morfométricas com a produção de pinhas de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no sul do Brasil. *Ciência Florestal*, v. 32, n. 3, p. 1247-1267, 2022. <https://doi.org/10.5902/1980509847843>

BARBOSA, L. O. et al. Dinâmica da *Ilex paraguaniensis* em dois fragmentos de Floresta Ombrófila Densa em Minas Gerais. *BIOFIX Scientific Journal*, v. 4 n. 1 p. 1-6, 2019. [dx.doi.org/10.5380/biofix.v4i1.62584](https://doi.org/10.5380/biofix.v4i1.62584)

BATISTA, A. P. B. et al. Dinâmica e previsão da estrutura diamétrica em dois fragmentos de floresta atlântica no nordeste do Brasil. **Revista Árvore**, v. 40, n. 2, p. 307-317, 2016. <https://doi.org/10.1590/0100-67622016000200013>

BRASIL. Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2021. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/lei/14119.htm

BRUN, E. J. et al. Nutritional evaluation in native forest species used in afforestation on campus of the Universidade Federal de Santa Maria, RS. **RevSbau**, v.7, n.1, p. 53-65, 2012.

BUONGIORNO, J.; MICHIE, B. R. A matrix model of uneven-aged forest management. **Forest Science**, v. 26, n. 4, p. 609-625, 1980. <https://doi.org/10.1093/forestscience/26.4.609>

CAMPOE, O. C. et al. Stem production, light absorption and light use efficiency between dominant and non-dominant trees of *Eucalyptus grandis* across a productivity gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 288, p. 14–20, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2012.07.035>

CAVASSIM, W. S. et al. Autoecology and Individual Tree Modeling of *Eugenia involucrata* DC. in an Araucaria Forest. **Biodiversidade Brasileira**, v. 12, n. 2, p. 1-23, 2022. <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v12i2.1835>

CONDE, B. E. et al. Evaluation of conservation status of plants in Brazil's Atlantic forest: An ethnoecological approach with Quilombola communities in Serra do Mar State Park. **PLoS ONE**, v. 15, n. 9, e0238914, 2020. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238914>

CUBAS, R.; WATZLAWICK, L. F.; FIGUEIREDO FILHO, A. Incremento, ingresso e mortalidade em um remanescente de Floresta Ombrófila Mista em Três Barras, SC. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 3, p. 889-900, 2016. <https://doi.org/10.5902/1980509824216>

CUBAS, R. **Reestabelecimento de Araucaria angustifolia e Ocotea porosa após sete décadas de exploração florestal**. 2015. 118 p. (Tese de doutorado).

EBLING, A.A. et al. Acuracidade da distribuição diamétrica entre métodos de projeção em Floresta Ombrófila Mista. **Ciência Rural**, v. 42, n. 6, p. 1020-1026, 2012.

FIGUEIREDO FILHO, A. **Relatório técnico: Comparação da dinâmica de uma Floresta Ombrófila Mista e uma vegetação arbórea estabelecida sob um plantio de Araucaria angustifolia no Centro Sul do estado do Paraná**. 2011. p.36.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992.

GEORGIN, J. et al. Potential of *Cedrela fissilis* bark as an adsorbent for the removal of red 97 dye from aqueous effluents. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 19207-19219, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05321-9>

GOMES, M. S. et al. Estratégias de projeção da estrutura diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 2, p. 902-922, 2022. <https://doi.org/10.5902/1980509863311>

HANSON, J. J. et al. Ecological forestry in an uneven-aged, late-successional forest: Simulated effects of contrasting treatments on structure and yield. **Forest Ecology and Management**, v. 270, p. 94– 107, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.01.017>

HOMCZINSKI, I. **Distribuição espacial, dinâmica e biometria de Campomanesia xanthocarpa (Mart.) O. Berg. em Floresta Ombrófila Mista**. 2017. 88 p. (Dissertação de mestrado).

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Iratí, PR**. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/irati/panorama>. Acesso em: 19/01/2024.

ICMBio. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. (ICMBio). **Plano de Manejo da Floresta Nacional de Iratí**. 2013. p. 186.

KIERAS, W. S.; ACCIOLY, Y.; MACHADO, S. A. Análise estrutural e dinâmica de *Gymnanthes klotzschiana* (Müll. Arg.) em um fragmento De Floresta Ombrófila Mista. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 17, n. 1, p. 71-79, 2018.

LANA, M. D. et al. Projeção diamétrica por Razão de Movimentos em um fragmento de floresta ombrófila mista no sul do Paraná. **Floresta**, v. 45, n. 1, p. 151 – 162, 2015. <https://doi.org/10.5380/rf.v45i1.31091>

LISBOA, G. S. et al. Grupos florísticos em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista na Flona De Iratí, PR. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 31, n. 2, 2018.

LONGHI, R. V. et al. Projeção da distribuição diamétrica em floresta com araucária explorada seletivamente no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 2, p. 210-219, 2017. <https://doi.org/10.5039/agraria.v12i2a5437>

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras Volume 1 - 8ª Ed.** Viçosa: UFV. 2020.

MILLER, D. Z.; HIGUCHI, P.; BLUM, C. T. Indicator species and characterization of the woody and herbaceous layer in an Atlantic Forest ecotone area at the Paraná portion of Serra do Mar. **Rodriguésia**, v. 74, e01542021, 2023. <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860202374010>

Ministério do Meio Ambiente (MMA). Portaria n. 443, de 17 de dezembro de 2014. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2014. p.110-121. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislação&legislacao=134519>

RIBEIRO, T. M. et al. A Mixed Rain Forest in southeastern Brazil: tree species regeneration and floristic relationships in a remaining stretch of forest near the city of Itaberá, Brazil. **Acta Botânica Brasiliensis**, v. 27, n. 1, 71-86, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062013000100010>

OLIVEIRA, L. C. Q.; GOMES, J. M. Prognose da distribuição de espécies arbóreas com os métodos Matriz de Transição e Razão

de Movimentos. **Revista Agroambiente**, v.14, p. 1-11, 2020.
<https://doi.org/10.5902/1980509832083>

QIN, J.; CAO, Q. V.; BLOUIN, D. C. Projection of a diameter distribution through time. **Canadian Journal Forest Research**, 37, p. 188-194, 2007. <https://doi.org/10.1139/X06-216>

REYNOLDS, M.R.; BURK, T.E.; HUANG, W.C. Goodness-of-fit-tests and model selection procedures for diameter distribution models. **Forest Science**, v. 34, n. 2, p. 373-399, 1988.

ROIK, M. **Dinâmica (2002-2011) e modelagem do incremento diamétrico em fragmento de Floresta Ombrófila Mista na Floresta Nacional de Irati, Paraná**. 2012. 141 p. (Dissertação de Mestrado)

SALAMI, B. et al. Influência de variáveis ambientais na dinâmica do componente arbóreo de um fragmento de floresta ombrófila mista em Lages, SC. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 102, p. 197-207, 2014.

SCARANO F. R.; CEOTTO P. Brazilian Atlantic Forest: impact, vulnerability and adaptation to climate change. **Biodiversity and Conservation**, v. 24, n. 9, p. 2319-31, 2015.
<https://doi.org/10.1007/s10531-015-0972-y>

SCHMIDT, L. N. et al. Dinâmica da *Copaifera langsdorffii* em dois fragmentos de cerradão em Minas Gerais. **Biodiversidade Brasileira**. Ponta Grossa: Atena. 2019.
<https://doi.org/10.22533/at.ed.6251926123>

SCHONS, C. T. et al. Índices de competição em nível de árvore individual para espécies da floresta ombrófila mista. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 128, e3275, 2020.
<https://doi.org/10.18671/scifor.v48n128.13>

SCOLFORD, J. R. S. **Manejo Florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998.

SCUSSEL, C. et al. Fragmentação florestal em área de Mata Atlântica no sul do Brasil: uma análise baseada em métricas da paisagem. **Geografia Ensino e Pesquisa**, v. 24, p. 1-23, 2020.

SENS, T. M. Z. et al. Dinâmica florestal em floresta ombrófila mista secundária e sistema silvipastoril. **Acta Biológica Catarinense**, v. 8, n. 1, p. 18-34, 2021.

SCHMITZ, R. **Crescimento e dinâmica de populações de Cedrela fissilis Vell. em diferentes regiões fitoecológicas no sul do Brasil**. 2022. 97 p. (Tese de doutorado).

SILVA, K. E. et al. Padrões Espaciais Arbóreas Tropicais. **Ecologia de florestas tropicais do Brasil**. Viçosa: UFV, 2012.

SILVA, J. M. C. et al. Conservação da Mata Atlântica brasileira: um balanço dos últimos dez anos. **Metamorfoses Florestais: Culturas, ecologias e as transformações históricas da Mata Atlântica**. Curitiba: Prismas, 2016.

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

SOUZA, C. R. **Dinâmica de carbono em floresta explorada e em floresta nativa não explorada na Amazônia-Manaus**. 2012. 115 p. (Tese de Doutorado)

SOUZA, C.R et al. Projection of diametric distribution and carbon stock of a managed forest in Manaus/AM. **Floresta**, v. 44, n. 3, p. 525-534, 2014.

STEPKA, T. F. et al. Growth of *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis* and *Ocotea porosa* in different locations within the Araucaria forest in the southern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 486, p. 1-14, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.118941>

THEODORO, S. H. Soil remineralization and recovery of degraded areas: an experience in the tropical region. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 107, 103014, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.103014>

VENTUROLI, F.; FRANCO, A.C.; FAGG, C.W. Tree diameter growth following silvicultural treatments in a semi-deciduous secondary forest in central Brazil. **Cerne**, v. 21, n. 1, p. 117-123, 2015.
<https://doi.org/10.1590/01047760201521011204>