

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS**

**PRODUTIVIDADE ANUAL DE COMUNIDADES DE ÁRVORES EM ÁREAS DE
RESTAURAÇÃO FLORESTAL E REMANESCENTES FLORESTAIS A PARTIR DA
ANÁLISE DE ANÉIS DE CRESCIMENTO**

RENE PORCIUNCULA

PORTO ALEGRE - RS

2017

RENE PORCIUNCULA

**PRODUTIVIDADE ANUAL DE COMUNIDADES DE ÁRVORES EM ÁREAS DE
RESTAURAÇÃO FLORESTAL E REMANESCENTES FLORESTAIS A PARTIR DA
ANÁLISE DE ANÉIS DE CRESCIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Ciências Biológicas do Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito para obtenção do título de Bacharel em Biologia.

Orientadora: Prof^a Dr^a Sandra Cristina Müller

Porto Alegre – RS

2017

Produtividade anual de comunidades de árvores em área em processo de restauração florestal e remanescente florestal a partir da análise de anéis de crescimento

Rene Porciuncula, Milena F. Rosenfield, Gabriela R. Ávila, Sandra C. Müller

Resumo

Ao se utilizar fragmentos florestais de uma determinada região, como referência, é possível observar a recuperação mais rápida ou mais lenta da área reflorestada pretendida, de acordo com o andamento da restauração. As estimativas de incremento de biomassa florestal são informações imprescindíveis para questões ligadas, entre outras, ao manejo florestal e clima. O presente estudo tem o objetivo de avaliar processos ecossistêmicos relacionados à produtividade primária em área em restauração e remanescente florestal. Para tanto, a pesquisa consistiu na avaliação e comparação dos incrementos anuais de biomassa a partir da análise de anéis de crescimento de espécies arbóreas em comunidades em processo de restauração e em floresta de referência, e da biomassa lenhosa estimada para cada indivíduo. Amostras de lenho foram coletadas em árvores de espécies que sabidamente formam anéis de crescimento, e então analisadas em laboratório. Posteriormente realizamos análises com modelos lineares mistos que permitiram avaliar o incremento anual e o estoque de biomassa de ambas as comunidades (tratamentos: restauração vs. floresta de referência). Os resultados indicaram que a espécie com maior taxa de incremento anual (tamanho de anel) foi *Parapiptadenia rigida*, com 3,52 mm/ano, e a menor foi *Cupania vernalis*, com 1,76 mm/ano. Os valores de incremento anual por comunidade avaliada não diferiram entre os tratamentos ($F= 0,124$, $p= 0,727$), demonstrando valores semelhantes de produtividade. Porém a biomassa viva acima do solo dos indivíduos da área de referência demonstrou ser maior que a biomassa dos indivíduos na área de restauração ($F= 7,024$, $p= 0,012$). Essa diferença reflete apenas o tempo maior que os indivíduos da referência tiveram para crescer em relação aos indivíduos da restauração. Os resultados indicam que diferenças locais associadas às condições de cada tratamento parecem não interferir na taxa de incremento anual das árvores presentes e que o tempo em si (i.e., a idade da floresta) reflete em diferenças de biomassa acumulada ao longo do processo de restauração ou sucessão florestal.

Palavras-chave: Processos ecossistêmicos, incremento de biomassa, dendrocronologia, ecossistemas degradados.

Abstract

By using forest fragments of a given region as a reference, it is possible to observe the faster or slower recovery of a desired reforested area, according to the restoration progress. Estimates of forest biomass increment are essential information on issues related to forest management and climate, among others. We aimed to assess ecosystem processes related to primary productivity in an area undergoing restoration and a forest remnant. In order to achieve that, the research consisted on the evaluation and comparison of the annual biomass increments from the growth ring analysis of tree species from communities under restoration and in a reference forest, and on the woody biomass estimation for each individual. Woody samples were collected from trees of species that form annual growth rings and then analyzed in laboratory. Analyses with linear mixed models were then performed to evaluate the annual increment and the biomass stock of those communities (treatments: restoration *vs.* reference forest). The results indicated that *Parapiptadenia rigida* was the species with the highest annual growth rate, with 3.52 mm/year and *Cupania vernalis* had the lowest, with 1.76 mm/year. Annual increase per community was not different between treatments ($F=0.124$, $p=0.727$), showing similar values of productivity. However, the aboveground biomass of trees from the reference forest proved to be larger than the biomass of individuals from the restoration area ($F=7.024$, $p=0.012$). This difference reflects only the greater time that individuals of the reference forest had to grow in relation to the individuals of the restoration. The results indicate that local differences associated to the conditions of each treatment seems not be influencing the annual increment rate of present trees and that the time *per se* (i.e. forest age) reflects in differences in biomass stock through the restoration process or forest succession.

Keywords: Ecosystem processes, biomass increase, dendrochronology, degraded ecosystems.

Introdução

Os ecossistemas florestais têm sofrido uma forte pressão de corte de suas árvores e conversão de suas áreas para as mais diferentes necessidades antrópicas. Consequentemente, parte dos remanescentes florestais que hoje é observada não se encontra em um estágio avançado de sucessão ecológica (FAO, 2010). Em vista disso, surge a necessidade de um maior conhecimento sobre o funcionamento desses ecossistemas secundários, suas interações e os processos envolvidos em sua manutenção (Poorter et al., 2016). Além disso, faz-se necessário o desenvolvimento de técnicas para a restauração de áreas degradadas a fim de ampliar a conservação desses ecossistemas (Almeida, 2016). Apesar da incerteza em saber se o retorno à condição original do ecossistema a ser restaurado poderá ou não ser atingido, conhecer os processos ecológicos é fundamental no desenvolvimento de novos métodos de restauração (Almeida, 2016). A restauração de ecossistemas degradados envolve conhecimentos diversos, principalmente, no que se refere à reconstituição da estrutura do ecossistema e da dinâmica das espécies (Almeida, 2016).

A restauração ecológica consiste em uma atividade intencional que objetiva proporcionar a um dado ecossistema degradado, alterado ou destruído o retorno à sua trajetória histórica, facilitando ou reiniciando os processos ecológicos responsáveis pela sucessão e resiliência do ecossistema (Clewellet al., 2004). Nesse contexto é de fundamental importância entender o funcionamento do processo de sucessão ecológica, pois a ele se deve a capacidade de um dado ecossistema se recuperar após um distúrbio (Kageyama, 2007). Entretanto, a avaliação do desenvolvimento dos processos e do funcionamento desses ecossistemas é de difícil verificação devido à alta complexidade de interações entre variáveis bióticas e abióticas.

No Brasil, os métodos de implementação, avaliação de sucesso e monitoramento de áreas de restauração têm sido norteados pela demanda cada vez maior de regularização ambiental das atividades produtivas e pela necessidade de mitigação de impactos ambientais diversos. Entretanto o sucesso de ações de restauração pode ser alcançado através dos erros e acertos cometidos em projetos de restauração pretéritos, observados via monitoramentos, proporcionando assim a readequação dos métodos (Brancalion et al., 2012; Rodrigues et al., 2009).

De acordo com Brancalion et al. (2012), o monitoramento é uma das mais importantes etapas no processo de restauração porque permite observação constante acerca do desenvolvimento sucessional da área e instiga a reflexão sobre o funcionamento do ecossistema. Dessa forma, foram surgindo diferentes métodos de restauração florestal,

todavia a decisão por um ou outro método depende necessariamente do grau de integridade do ecossistema (i.e. grau de degradação), do seu estágio de sucessão, das características da matriz do entorno e do histórico de uso da terra (Engel & Parrota, 2003; Gandolfi & Rodrigues, 2007). De acordo com Padilha et al. (2014), os métodos mais utilizados para restauração florestal são transposição de solo, poleiros artificiais, transposição de galharia, e plantio de mudas em linhas ou em ilhas de alta biodiversidade. No entanto, o método mais utilizado em projetos de restauração florestal consiste no simples plantio de espécies nativas, podendo ser realizado em núcleos, em linhas de plantio ou por outros métodos sistemáticos (Ruiz-Jaen & Aide, 2005). Segundo Brancalion et al. (2012), os métodos de restauração florestal sofreram constantes revisões no decorrer da sua evolução, avançando de simples plantios de espécies exóticas a plantios de árvores nativas com alta diversidade de espécies.

Recentemente, com o avanço no conhecimento da dinâmica de florestas tropicais e o amadurecimento da ecologia da restauração, ocorreram mudanças conceituais também no que se refere às metas da restauração (Rodrigues, 2009). Os projetos de restauração ecológica deixaram de ter como principal objetivo alcançar uma cópia de um remanescente florestal bem conservado, baseada em levantamentos florísticos pretéritos e características da região, e passaram a se preocupar em restaurar a dinâmica, os processos e serviços ecossistêmicos (Rodrigues et al., 2009). Assim, diferentes parâmetros têm sido propostos de acordo com as metas estabelecidas (Clewell et al., 2004) e além da importância da restauração para a conservação, parâmetros relacionados com a dinâmica do carbono em áreas de restauração florestal têm tido um forte apelo (Friedlingstein et al., 2006). Isso está associado à função de sequestro do carbono da atmosfera e subsequente retenção desse carbono nos ecossistemas, especialmente diante do aumento da produção dos gases de efeito estufa e do aquecimento global (Friedlingstein et al., 2006).

A biomassa acumulada acima do solo, ou seja, a quantidade de biomassa que o ecossistema florestal pode acumular nos troncos, folhas e galharia é um bom indicador da dinâmica do carbono e do estado momentâneo de desenvolvimento da floresta (Chave et al., 2001), porém processos associados à produtividade primária, avaliados, por exemplo, pelo incremento anual de biomassa e pelo acúmulo de serapilheira no solo, podem indicar o estado e a velocidade do processo de restauração (Lu et al., 2003; Moreira & Silva, 2004). Portanto, medidas indiretas de produtividade, quando comparadas com valores de remanescentes florestais de referência, podem ser excelentes indicadores do estado da restauração florestal (Suganuma & Torezan, 2013).

Uma abordagem ainda pouco utilizada na avaliação da produtividade primária consiste na avaliação dos anéis de crescimento de indivíduos arbóreos para obter informações relacionadas à produtividade do ecossistema associado (Babst et al., 2014). Estudos com anéis de crescimento têm sido utilizados para diversos objetivos, desde reconstruções climáticas (Jones et al., 2009) à datação de vestígios arqueológicos (Haneca et al., 2009). Além de possibilitar estimar a idade das árvores e obter informações do clima pretérito, essa ferramenta pode vir a fornecer informações relevantes acerca de processos e serviços ecossistêmicos, tais como incremento anual de biomassa (produtividade) e a quantidade de carbono sequestrada (Babst et al., 2014).

Diante do exposto, o presente estudo tem como principal objetivo avaliar e comparar a produtividade anual de comunidades de árvores em áreas de restauração florestal com áreas em estágio avançado de sucessão florestal (remanescentes florestais de referência). Espera-se que indivíduos de áreas de restauração tenham maior taxa de incremento de biomassa anual que indivíduos da floresta remanescente, dadas as condições de maior luminosidade do habitat que estimulam maiores taxas de crescimento (Bianchini et al., 2001; Nicotra et al. 1999). Assim, espera-se que comunidades em restauração tenham maior produtividade primária, quando comparadas dentro de um mesmo intervalo de tempo, que remanescentes florestais próximos. Porém, estima-se que o estoque de biomassa será maior nos remanescentes, dado o maior tempo de vida das árvores daquela comunidade.

Material e Métodos

Área de estudo

O estudo foi conduzido em área onde foram realizados plantios de restauração florestal, no município de Canela (29°22'43"S; 50°43'50"W), Rio Grande do Sul, Brasil (Figura 1) e numa área adjacente de remanescente florestal. Essas áreas se encontram dentro do domínio da Floresta Estacional Semidecidual, próximo ao limite com o domínio da Floresta Ombrófila Mista (IBGE, 2012), sofrendo assim a influência dos dois tipos vegetacionais. No entanto, de acordo com estudo realizado por Boeni (2016), a maior parte das espécies é característica da Floresta Estacional Semidecidual.

Conforme a classificação de Köppen-Geiger, o clima é temperado úmido com verões quentes – Cfa, caracterizado por temperatura do mês mais frio entre 0°C e 18°C, ausência de uma estação seca bem definida, presença de verões quentes e temperatura no mês mais quente igual ou superior a 22°C (Peel et al. 2006). A área de restauração consiste

de locais onde havia sido realizado o plantio em linhas de espécies nativas para recuperação de área degradada, após esta ter sido utilizada com silvicultura de eucalipto. O plantio das espécies nativas tem idade aproximada de oito anos (Boeni, 2016).



Figura 1. Imagem aérea indicando a localização da área de estudo e os dois tratamentos: área em restauração (marrom) e fragmento florestal (em verde). Fonte: Google Earth.

Coleta de dados

Primeiramente foi realizada a identificação de espécies que potencialmente formariam anéis de crescimento anuais considerando informações da literatura (*e.g.* Alves & Tomazello-Filho et al., 2004; Angyalossi-Alfonso, 2008; Reis-Avila & Oliveira, 2017), com base na lista de espécies presentes nas áreas (Rosenfield, 2017). Em seguida, os indivíduos foram sendo selecionados conforme encontrados (amostragem aleatória simples), tanto na área de restauração quanto de remanescente florestal. As coordenadas geográficas dos indivíduos selecionados foram obtidas em campo. A coleta de amostras de lenho foi realizada através de um método não destrutivo com auxílio de trado de incremento ou sonda de Pressler (Oliveira et al., 2007; Santarosa et al., 2007), pelo qual foram extraídos testemunhos cilíndricos transversais de 0,5 cm de diâmetro. Todos os testemunhos de incremento foram extraídos a uma altura de 1,5 m acima da superfície do solo. Foram retirados pelo menos dois testemunhos casca/medula por indivíduo. Para este estudo foram avaliados nas duas áreas um total de 37 indivíduos, das seguintes espécies: *Cupania vernalis* (10 indivíduos), *Luehea divaricata* (2), *Nectandra megapotamica* (14), *Ocotea puberula* (3),

Parapiptadenia rigida (6) e *Trichilia clausenii* (2). Na área de referência foram avaliados 18 indivíduos enquanto que na área em restauração foram avaliados 19 indivíduos.

Preparação e análise das amostras de lenho

Após a coleta do material foi realizada a preparação das amostras para contagem dos anéis de crescimento de acordo com a metodologia elaborada por Stokes e Smiley (1968). A preparação das amostras consistiu na fixação das amostras em bases de madeira, onde elas foram então lixadas e polidas. Para o lixamento e polimento foram usadas lixas com diversas granulometrias (80 a 600 grãos) com o intuito de tornar visível a demarcação de cada anel de crescimento (Stokes & Smiley, 1968). Para obtenção do incremento em diâmetro em cada ano, primeiramente os anéis foram identificados e datados sob estereomicroscópio. As amostras foram datadas a partir do seu anel mais externo que corresponde ao último ano de crescimento daquele indivíduo. Para a medição da largura dos anéis, todas as amostras foram digitalizadas em resolução de 600 dpi para medição dos anéis de crescimento com auxílio do software Image-Pro® Plus (Media Cybernetics, Inc). As datações foram aferidas por datação cruzada, método que se baseia no sincronismo de crescimento entre indivíduos. A datação cruzada é possível apenas se o crescimento das árvores é regulado por condições climáticas sazonais, levando a padrões de crescimento similares entre os indivíduos de uma população. Assim, possíveis erros de datação, causados por irregularidades anatômicas como falsos anéis e anéis parciais podem ser checados. Para correção de erros na datação primária foram utilizados gráficos impressos (Stokes & Smiley, 1968), que representam o crescimento dos indivíduos em cada ano. Se os gráficos tiverem o mesmo padrão pressupõe-se que a datação esteja correta. A partir desses dados foi quantificado o incremento anual do tronco (largura do anel de crescimento em cada ano, medido em mm/ano) para cada indivíduo.

Cálculo da biomassa

A biomassa acima do solo de cada árvore, para comparação entre os tratamentos, foi estimada através de equação alométrica proposta para a Mata Atlântica (Burger & Delitti, 2008), que leva em consideração informações de DAP (diâmetro a altura do peito; 1,30 m do solo) e altura das árvores. A medida de altura da árvore (em metros) foi estimada em campo, no momento da coleta das amostras de madeira. O diâmetro de cada árvore foi estimado a partir da largura dos anéis de crescimento de cada indivíduo: foi calculado o diâmetro do indivíduo para cada ano, sendo o diâmetro da árvore no ano t a soma do diâmetro do ano $t-1$

mais o incremento do ano t . O dado de diâmetro total do indivíduo no último ano (2015) foi utilizado na equação de biomassa.

Análise estatística

A fim de avaliar se existem diferenças no padrão de crescimento entre os tratamentos (restauração e remanescente florestal de referência), foi avaliada a largura dos anéis de crescimento das árvores nos últimos 10 anos, a fim de padronizar a idade de avaliação comum aos dois tratamentos. Para tanto, foi utilizado um modelo linear de efeito misto (Zuur et al., 2009), no qual o tratamento foi considerado efeito fixo e a espécie e os indivíduos os efeitos aleatórios. O fato das espécies possuírem diferentes perfis de crescimento influenciou na decisão de utilizar o modelo linear de efeito misto, pois ele permite controlar o efeito da identidade da espécie na análise. Além disso, o modelo foi ajustado de modo a remover o efeito da autocorrelação temporal entre os anos.

Com o intuito de identificar se há diferenças no estoque de biomassa viva acima do solo entre os tratamentos foi realizada uma ANOVA, considerando a estimativa de biomassa dos indivíduos avaliados quanto aos anéis de crescimento em cada tratamento. Todas as análises foram realizadas no *software* R (R Core Team, 2016).

Resultados

Foram coletadas amostras de 37 indivíduos distribuídos nas seis espécies consideradas (Tabela 1). A espécie que apresentou maior taxa de incremento anual foi *Parapiptadenia rigida* com 3,53 mm/ano e a menor foi *Cupania vernalis* com 1,76 mm/ano (Tabela 1). Quando se analisa o perfil de crescimento das espécies, pode-se observar que estas apresentaram taxas de incremento anual diferentes entre si (Tabela 1 e Figura 2), justificando assim a necessidade de controlar o efeito da espécie na avaliação das diferenças entre os tratamentos. A árvore mais antiga foi encontrada no remanescente florestal e foi um indivíduo da espécie *Cupania vernalis* que possuía aproximadamente 85 anos.

Tabela 1. Número de indivíduos coletados por tratamento e incremento médio anual por espécie, considerando o período de 2005-2015.

Espécie	Família	Nº de indivíduos coletados		Incremento médio (mm/ano)
		Floresta	Restauração	
<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	Sapindaceae	7	3	1,76 ± 1,07
<i>Luehea divaricata</i> Mart. & Zucc.	Malvaceae	2	0	2,51 ± 1,59
<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	Lauraceae	7	7	2,28 ± 1,39
<i>Ocotea puberula</i> (Rich.) Nees	Lauraceae	0	3	3,15 ± 1,98
<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan	Fabaceae	0	6	3,53 ± 1,40
<i>Trichilia clausenii</i> C.DC.	Meliaceae	2	0	2,26 ± 0,91

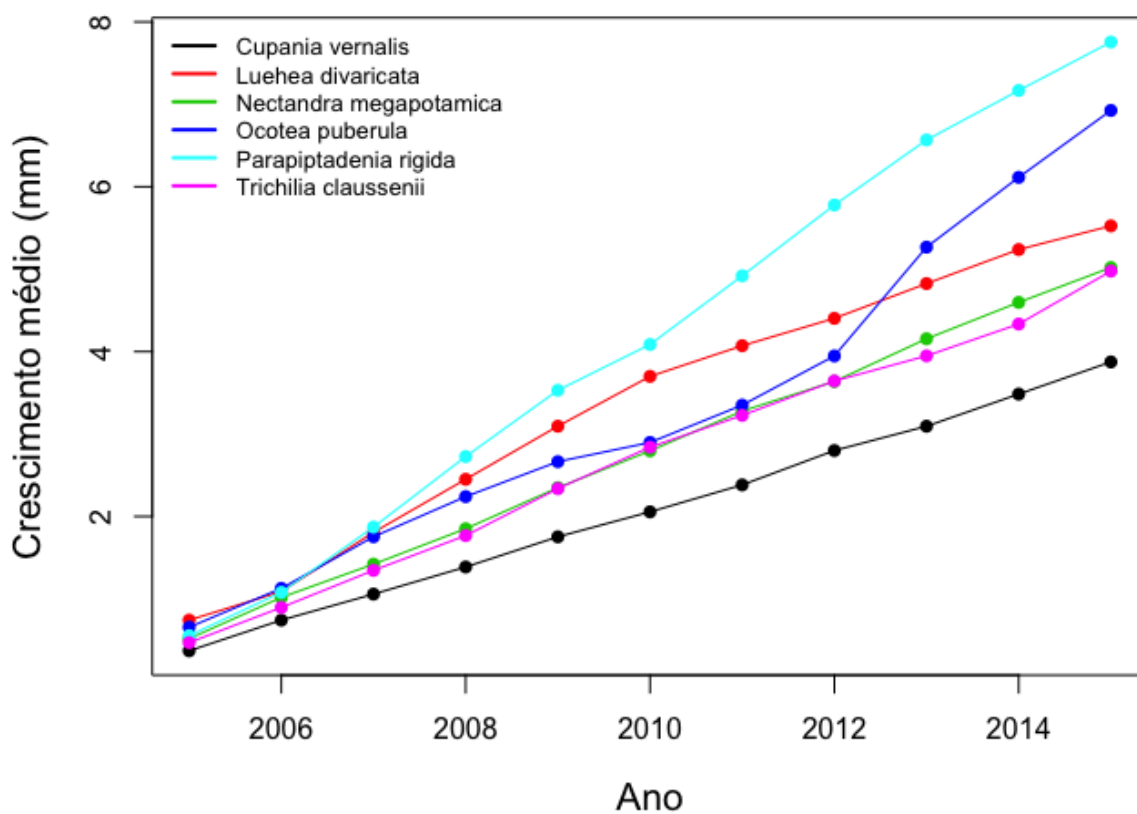


Figura 2. Crescimento médio para cada uma das espécies ao longo dos 10 últimos anos.

Os valores de incremento anual não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos ($F=0,124$; $p=0,727$; Figura 3), ao contrário da expectativa inicial. Por outro lado, o estoque de biomassa apresentou diferenças significativas entre os dois tratamentos ($F=7,024$, $p=0,012$), indicando que as áreas de floresta remanescente apresentam maiores valores de biomassa acumulada que as áreas de restauração (Figura 4).

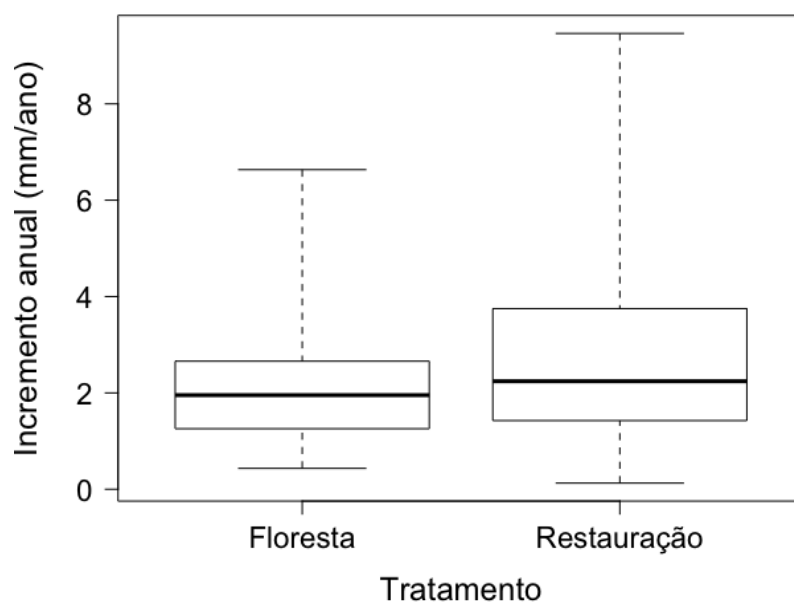


Figura 3. Incremento anual do tronco das árvores por tratamento. Não foram identificadas diferenças significativas no incremento anual da largura dos anéis de crescimento entre os tratamentos ($F=0,124$; $p=0,727$).

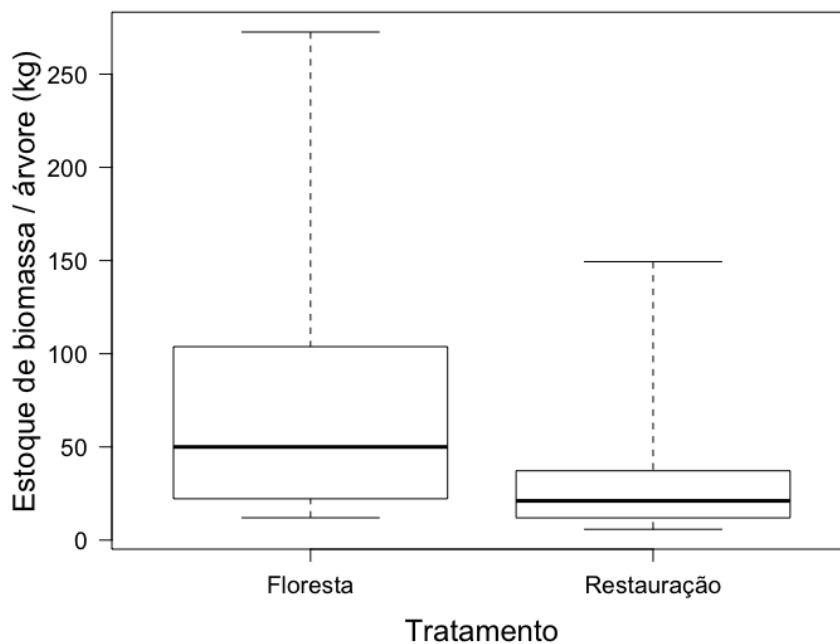


Figura 4. Estoque de biomassa por árvore, considerando todos os indivíduos amostrados, em cada tratamento. O estoque de biomassa na floresta foi significativamente maior do que na restauração ($F=7,024$, $p=0,012$).

Discussão

Os resultados obtidos no presente estudo indicam taxas de crescimento (produtividade primária) semelhantes entre os tratamentos (restauração vs. floresta), sugerindo que as condições locais dessas áreas nos últimos 10 anos parecem não ter afetado o crescimento das árvores. Esse resultado não corroborou a hipótese inicial do trabalho, de que os indivíduos situados no plantio de restauração teriam valores de produtividade mais elevados, dada a maior disponibilidade de luz em áreas de restauração/sucessão inicial (Maciel, 2002). Por outro lado, as áreas de floresta remanescente apresentaram maiores valores de biomassa acumulada que as áreas de restauração. Esse resultado já era esperado, pois no início da sucessão as plantas direcionam muito mais biomassa para tecidos responsáveis pela aquisição de recursos, como por exemplo, folhas e raízes finas, e em fases posteriores de sucessão as plantas direcionam energia para produção de biomassa da parte estrutural da planta, como caule e raízes de sustentação. No início da sucessão, a produção de folhas e serapilheira pode representar mais que a produção de madeira na produtividade total da floresta (Guariguata & Osterag, 2001). Certos aspectos ligados ao histórico de uso, tal como a composição química e estrutural do solo, podem influenciar indiretamente na produtividade do ecossistema, alterando a forma como crescem os indivíduos da área restaurada (Chazdon et al., 2010; Paiva & Poggiani, 2000).

A necessidade de entendimento da dinâmica de espécies de florestas tropicais aumenta à medida que se busca restaurar um ecossistema auto-sustentável. Ferramentas como pesquisa operacional, sistemas de informações geográficas, dendrocronologia, dentre outras, associadas ao avanço na informática possibilitariam um grande avanço nesse sentido, mas essas ferramentas ainda são geralmente negligenciadas (Oliveira, 2014). De acordo com Figueiredo Filho et al. (2017), uma maneira de se avaliar o crescimento e a produtividade florestal se dá através de inventários contínuos, no entanto essa prática demanda muito tempo e dinheiro. Quando as espécies de interesse apresentam anéis de crescimento anuais, a dendrocronologia se torna uma ferramenta relativamente rápida e fácil para se obter informações acerca do crescimento e produtividade de árvores (Figueiredo et al., 2017). No entanto, ela só pode ser utilizada em árvores adultas, pois se for realizado em árvores muito jovens pode ocasionar a morte desses indivíduos.

A competição entre indivíduos e espécies de plantas é de fundamental importância para compreender padrões de crescimento vegetal. Plantas com diferentes características e habilidades competitivas podem competir, tanto abaixo como acima do solo, conforme as condições/restrições ambientais do local onde coocorrem (Zanine & Santos, 2004). Plantas

com elevada habilidade competitiva acima do solo podem não dominar uma determinada área, se não disporem de recursos do solo (nutrientes ou água), enquanto plantas com elevada capacidade de absorção de nutrientes, mesmo em solos férteis, podem ser desfavorecidas por limitação luminosa, dada pelo sombreamento de outras plantas com maior produção de biomassa aérea (Zanine & Santos, 2004). Assim, por ocasião da associação de espécies diferentes de plantas em projetos de restauração, é interessante levar-se em consideração a competição por luz, bem como a utilização de plantas com sistemas radiculares distintos. Conhecer características competitivas de cada espécie pode ser de grande relevância para o planejamento de projetos de restauração.

Em estudo realizado por Mendes et al. (2013) na Floresta Amazônica, foi observado que a fotossíntese e o crescimento das árvores poderiam ser limitados pela disponibilidade de nutrientes. Os autores concluíram que pequenas alterações na abertura do dossel afetam o incremento em diâmetro das arvoretas e os conteúdos de nitrogênio e fósforo foliar por unidade de área, mostrando alta sensibilidade das árvores na fase juvenil às variações no ambiente luminoso. Os baixos teores foliares de fósforo e a alta relação nitrogênio/fósforo, bem como a estreita relação entre as taxas de fotossíntese e a eficiência no uso do fósforo, indicam que este elemento é utilizado com alta eficiência em plantas da Amazônia Central. Rosenfield (2017) avaliou diversas características associadas a processos ecológicos na mesma área do estudo em questão, como por exemplo, a relação carbono/nitrogênio do solo e da serapilheira que demonstrou ser maior na área de restauração do que na área de referência. Quando a relação carbono/nitrogênio, tanto do solo como da serapilheira, é alta, em geral se tem baixa qualidade das plantas (folhas e galharia) e do solo (Martius et al., 2004). Florestas em estado inicial de sucessão ecológica possuem poucas espécies fixadoras de nitrogênio, o que acaba interferindo diretamente na fertilidade do solo e indiretamente no vigor das plantas, pois o nitrogênio é um nutriente essencial para os vegetais (Martius et al., 2004).

Nesse sentido, tem-se observado que uma variedade de fatores ambientais e bióticos determina o crescimento da vegetação e o incremento de biomassa vegetal, a estrutura da comunidade e a produtividade (Rosenfield & Souza, 2013, 2014). Alguns desses fatores são temperatura, precipitação, características do solo, composição de espécies e o próprio armazenamento de biomassa acima do solo em ecossistemas florestais. Densidade, diversidade e matéria orgânica também influenciam a variação da biomassa. Além disso, todos esses fatores apresentam uma alta variabilidade espacial, afetando assim a variabilidade local de biomassa acima do solo em florestas subtropicais (Rosenfield & Souza, 2013, 2014).

Por outro lado, em estudo realizado sobre sucessão natural em Floresta Atlântica, foi observado que a recuperação estrutural da floresta se deve principalmente a fatores relacionados ao tempo de abandono da área (tempo de sucessão), independentemente das condições locais associadas ao espaço, à estrutura e à fertilidade do solo (Zanini et al., 2014).

Como o estudo da biomassa é uma ferramenta importante para avaliar não só o crescimento da vegetação mas também a quantidade de carbono acumulado nos ecossistemas, deve-se estimular a busca por estimativas de biomassa por métodos não-destrutivos cada vez melhores (Rosenfield & Souza, 2014). A análise de tronco é uma das técnicas utilizadas para determinar a idade e também o crescimento passado de diâmetro das árvores. Pode ser aplicada em qualquer época do ano, mas somente em espécies que têm como característica a distinção dos anéis de crescimento anuais. A principal vantagem é a rapidez na amostragem, sem ser um método destrutivo (Figueiredo Filho et al., 2017). A análise dos anéis de crescimento se mostrou eficiente para a geração de dados que permitem o desenvolvimento de modelos de crescimento de árvores (Andrade, 2015). Estudos dendrocronológicos relacionam a formação de anéis com condições ambientais, condições endógenas e fenofases das plantas, apontando que a formação de anéis está diretamente relacionada à sazonalidade do ambiente (Blagitz et al., 2016).

O presente estudo buscou avaliar a produtividade vegetal em área de restauração e remanescente florestal através da comparação e análise dos incrementos anuais de biomassa a partir da análise de anéis de crescimento de espécies arbóreas em comunidades de ambos os habitats. Os resultados demonstraram que a área em restauração apresentou incremento anual de lenho semelhante ao incremento das árvores da área de referência, indicando índices de produtividade semelhantes em floresta de restauração em estágio inicial de sucessão (cerca de 10 anos) e floresta em estágio avançado de sucessão. Esse resultado não corroborou com a expectativa inicial do trabalho, de que áreas em processo de restauração, por estarem em estágio inicial de sucessão e com maior incidência solar, apresentariam taxas de produtividade maior que florestas mais maduras (Guariguata & Osterag, 2001; Maciel, 2002). Ou seja, as condições locais associadas aos tratamentos parecem não estar influenciando a produtividade anual das árvores. Por outro lado, verificou-se que a área de referência (remanescente florestal) demonstrou valores de estoque de biomassa muito superiores aos da área em restauração, o que já era uma expectativa, pois florestas mais maduras possuem mais tempo de acúmulo de biomassa do que florestas iniciais. O conhecimento sobre o funcionamento de ecossistemas em processo de restauração conjuntamente com o entendimento dos processos ecológicos que definem áreas de referência são de suma importância para o planejamento de

projetos de restauração. Não obstante, a utilização de formas rápidas, confiáveis e não-destrutivas para avaliar processos associados à produtividade, como a análise de anéis de crescimento, permite ampliar a avaliação do sucesso da restauração em termos de desenvolvimento florestal (recuperação) ou de funções/serviços ecossistêmicos (provisão de recursos, estoque de carbono).

Agradecimentos

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Instituto de Biociências pela privilegiada oportunidade de usufruir a estrutura física e pessoal de uma das melhores universidades da América Latina.

À FAPERGS e ao CNPq, por todas as bolsas de iniciação científica.

À querida e sempre disposta Profa. Sandra C. Muller, uma das mulheres mais fortes e batalhadoras que eu já conheci, mas nunca deixando de lado a sua calma característica. Muito obrigado por me aceitar como seu orientado por todo esse tempo.

A todos os colegas do LEVEG, por todas as conversas bem humoradas e pelo o apoio e em especial ao Gabriel Heck pelo auxílio em campo e preparação das amostras.

Um agradecimento especial à Gabriela R. Ávila por todo o auxílio em campo, na preparação das amostras, na datação dos anéis e por todo o conhecimento que me passou sobre a dendrocronologia.

Ao Prof. Juliano Morales da Universidade do Vale dos Sinos (UNISINOS), pelo empréstimo dos trados de Pressler e ferramentas para a preparação das amostras.

À família Silva, em especial à Núbia e à Helena por todo o apoio e dedicação com a minha pessoa, cuidando do meu corpo e mente.

Um agradecimento super especial à Milena F. Rosenfield, por todos ensinamentos, conversas, campos, análises estatísticas e por ter me ensinado uma grande parte do conhecimento e dos valores que eu tenho hoje. Serei sempre grato a ti.

Ao meu sogro e sogra por terem me aturado todo esse tempo e por me amarem como se fossem meus pais biológicos.

Outro agradecimento super especial aos meus pais, por idealizarem e financiarem esse sonho de se tornar Biólogo e por nunca deixarem de acreditar na minha capacidade. Pai, muito obrigado por todas as palavras de motivação e por ser essa pessoa maravilhosa. Mãe, muito obrigado por estar sempre disponível para escutar e confortar. Eu amo muito vocês dois.

Por fim, gostaria de agradecer à Samara Dias de Castro, por todo o apoio psicológico, companheira excepcional que tu és. Sempre me apoiando e sempre acreditando no meu potencial. Nunca vou cansar de te agradecer. Eu te amo.

Referências Bibliográficas

Almeida, D. S. (2016). Alguns princípios de sucessão natural aplicados ao processo de recuperação. In: Recuperação ambiental da Mata Atlântica. 3 ed. Ilhéus: Editus. doi: 10.7476/9788574554402

Alves, E.S. & Angyalossy-Alfonso, V. (2000). Ecological trends in the Wood anatomy of some brazilian species. 1. Growth rings and vessels. IAWA Journal. 21(1):3-30. doi: 10.1163/22941932-90000233

Andrade, V. H. F. (2015). Modelos de crescimento para *Hymenaea courbaril* L. e *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S.O. Grose em floresta de terra firme utilizando análise de anéis de crescimento. [Dissertação de Mestrado]. Curitiba: Universidade Federal do Paraná.

Babst, F., Bouriaud, O., Alexander, R., Trouet, V. & Frank, D. (2014). Toward consistent measurements of carbon accumulation: a multi-site assessment of biomass and basal area increment across Europe. *Dendrochronologia*. 32(2):153-161. doi: 10.1016/j.dendro.2014.01.002

Barbosa, L. M., Barbosa, T. C. & Barbosa, K. C. (2011). Ferramentas disponíveis visando à restauração ecológica de áreas degradadas: contribuição do Instituto de Botânica de São Paulo da Secretaria do Meio Ambiente. In: BARBOSA, L.M. (coord.). Anais do IV Simpósio de Restauração Ecológica. São Paulo, pp. 111-118. doi: 10.1590/s1516-89132001000300008

Bianchini, E., Pimenta, J. A. & Dos Santos, F. A. M. (2001). Brazilian Archives of Biology and Technology Spatial and Temporal Variation in the Canopy Cover in a Tropical Semi-Deciduous Forest. *Braz Arch Biol Techn*. 44(3):269-276. doi: 10.18671/scifor.v44n109.16

Blagitz, M., Botosso, P. C., Bianchini, E. & Medri, M. E. (2016). Periodicidade do crescimento de espécies arbóreas da Floresta Estacional Semidecidual no Sul do Brasil. *Sci For*. 44(109):163-173. doi: 10.18671/scifor.v44n109.16

Boeni, A. F. (2016). Caracterização florística e fitossociológica de uma área em processo de restauração florestal comparada a uma área em sucessão secundária (regeneração natural) no Sul do Brasil. Universidade de São Paulo: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. doi: 10.11606/d.11.2016.tde-26042016-175442

Brancalion, P. H. S., GorneViani, R. A., Rodrigues, R. R. & Gandolfi, S. (2012). Avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração. In: S.V. Martins (ed.). Restauração ecológica de ecossistemas degradados. Editora UFV, Viçosa, pp. 262-293.

Burger, D. M. & Delitti, W. B. C. (2008). Allometric models for estimating the phytomass of a secondary Atlantic Forest area of southeastern Brazil. *Biota Neotrop.* 8(4):131-136. doi: 10.1590/s1676-06032008000400012

Campoe, O. C. (2008). Efeito de práticas silviculturais sobre a produtividade primária líquida de madeira, o índice de área foliar e a eficiência do uso da luz em plantios de restauração da Mata Atlântica. [Dissertação de Mestrado]. Universidade de São Paulo: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. doi: 10.11606/d.11.2008.tde-25072008-122441

Chave, J., Riera, B. & Dubois, M.-A. (2001). Estimation of biomass in a neotropical forest of French Guiana: spatial and temporal variability. *J Trop Ecol.* 17:79-96. doi: 10.1017/s0266467401001055

Chazdon, R. L., Finegan, B., Capers, R. S., Salgado-Negret, B., Casanoves, F., Boukili, V. & Norden, N. (2010). Composition and dynamics of functional groups of trees during tropical forest succession in Northeastern Costa Rica. *Biotropica.* 42(1):31-40. doi: 10.1111/j.1744-7429.2009.00566.x

Clewell, A., Aronson, J. & Winterhalder, K. (2004). The SER International primer on ecological restoration. *Ecological Restoration.* 2(2):206-207.

Colmanetti, M. A. A. & Barbosa, L. M. (2013). Fitossociologia e estrutura do estrato arbóreo de um reflorestamento com espécies nativas em Mogi-Guaçu, SP, Brasil. *Hoehnea.* 40(3):419-435. doi: 10.1590/s2236-89062013000300003

Engel, V. L. & Parrota, J. A. (2003). Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. In: KAGEYAMA, P.Y.; Oliveira, R. E.; Moraes, L. F. D.; Engel, V. L. & Gandara, F. B. (orgs.) *Restauração ecológica de ecossistemas naturais*. FEPAF. Botucatu, SP, 2003:01-26.

FAO. (2010). Food and Agriculture Organization. *Global Forest Resources Assessment 2010*. America, 147, 350 pp.

Figueiredo Filho, A., Retslaff, F. S., Retslaff, F. S., Longhi-Santos, T. & Stepka, T. F. (2017). Crescimento e idade de espécies nativas regenerantes sob plantio de Araucária angustifolia no Paraná. *Floresta e Ambiente.* 24:e00104814. doi: 10.1590/2179-8087.104814

Friedlingstein, P., Cox, P., Betts, R., Bopp, L., Von Bloh, W., Brovkin, V. & Zeng, N. (2006). Climate-carbon cycle feedback analysis: results from the C 4 MIP Model Intercomparison. *J Climate.* 19(14):3337-3353. doi: 10.1175/jcli3800.1

Gandolfi, S. & Rodrigues, R. R. (2007). Metodologias de restauração florestal. In: Cargill: *Manejo ambiental e restauração de áreas degradadas*. Fundação Cargill, Campinas, pp.109-143.

Guariguata, M. R. & Ostertag, R. (2001). Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *Forest Ecology and Management.* 148:185-206. doi: 10.1016/s0378-1127(00)00535-1

Haneca, K., Cufar, K. & Beckman, H. (2009). Oaks, tree-rings and wooden cultural

heritage: a review of the main characteristics and applications of oak dendrochronology in Europe. *J Archaeol Sci.* 36(1):1-11. doi: 10.1016/j.jas.2008.07.005

IBGE. (2012). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. <https://doi.org/ISSN 0101-4234>.

Jones, P. D., Briffa, K. R., Osborn, T. J., Lough, J. M., Van Ommen, T. D., Vinther, B. M. & Xoplaki, E. (2009). High-resolution palaeoclimatology of the last millennium: a review of current status and future prospects. *The Holocene.* 19(1):3-49. doi: 10.1177/0959683608098952

Kageyama, P.Y. (2007). A biodiversidade como ferramenta em agroecossistemas. In: L.M. Barbosa & N.A. Santos Jr. (orgs.). *A botânica no Brasil: pesquisa, ensino e políticas públicas ambientais*, Sociedade Botânica do Brasil, São Paulo, pp. 83-87.

Lu, D., Mausel, P., Brondízio, E. & Moran, E. (2003). Classification of successional forest stages in the Brazil-ian Amazon basin. *Forest Ecol Manag.* 181:301-312. doi: 10.1016/s0378-1127(03)00003-3

Maciel, M. N. M. (2002). Efeito da radiação solar na dinâmica de uma floresta. *Revista Ciências Exatas e Naturais.* 4(1):101-114.

Martius C et al. (2004). Litter fall, litter stocks and decomposition rates in rain forest and agroforestry sites in central Amazonia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 68:137–154.

Mendes, K. R., Ricardo A., Marengo, R. A. & Magalhães, N. S. (2013). Crescimento e eficiência fotossintética de uso do nitrogênio e fósforo em espécies florestais da Amazônia na fase juvenil. *Rev Arvore.* 37(4). doi: 10.1590/s0100-67622013000400014

Moreira, P. R. & Silva, O. A. (2004). Produção de serapilheira em área reflorestada. *Rev Arvore.* 28:49-59. doi: 10.1590/s0100-67622004000100007

Nicotra, A. B., Chazdon, R. L. & Iriarte, S. V. B. (1999). Spatial heterogeneity of light and woody seedling regeneration in tropical wet forests. (Statistical Data Included). *Ecology.* 80(6):1-17. doi: 10.2307/176668

Oliveira, C. L. (2010). Estimativa da dinâmica de carbono na biomassa lenhosa de terra firme na reserva de desenvolvimento sustentável Amanã por métodos dendrocronológicos. 53 f. Dissertação, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA.

Oliveira, J. M., Santarosa, E., Roig, F. A. & Pillar, V. D. (2007). Amostragem temporal de anéis de crescimento: uma alternativa para determinar ritmo de atividade cambial. *Revista Brasileira de Biociências.* 5(1):615-617.

Oliveira, M. F. (2014). Critérios para o manejo sustentável de duas espécies madeireiras das florestas tropicais do Mato Grosso. [Dissertação de Mestrado]. Curitiba: Universidade Federal do Paraná.

Padilha, P. T., Nicolau, V. R., Corrêa, P. F., Citadini-Zanette, V. & Santos, R. (2014). Técnicas de restauração de áreas degradadas em unidades de conservação. IV Seminário de

Pesquisa em Planejamento e Gestão Territorial “As mudanças climáticas globais e suas implicações na ocupação do espaço geográfico”. Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC.

Paiva, A. V. & Poggiani, F. (2000). Crescimento de mudas de espécies arbóreas nativas plantadas no sub-bosque de um fragmento florestal. *Sci For.* 57:141-151.

Peel, M. C., Finlayson, B. L. & McMahon, T. A. (2006). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Meteorol Z.* 15:259-263. doi: 10.5194/hessd-4-439-2007

Poorter, L., Bongers, F., Aide, T. M., Zambrano, A. M. A., Balvanera, P., Becknell, J. M. & Craven, D. (2016). Biomass resilience of Neotropical secondary forests. *Nature*, 530(7589), 211-214. doi: 10.1038/nature16512

Reis-Avila, G. & Oliveira, J. M. (2017). Lauraceae: a promising family for the advance of neotropical dendrochronology. *Dendrochronologia.* 44:103-116. doi: 10.1016/j.dendro.2017.04.002

R Core Team. (2016). R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2014. R Foundation for Statistical Computing.

Rodrigues, R. R., Brancalion, P. H. S., & Isernhagen, I. (2009). Pacto pela restauração da mata atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. São Paulo: LERF/ESALQ: Instituto BioAtlântica, 256p.

Rosenfield, M. F. (2017). Processos ecossistêmicos e funcionalidade de florestas em restauração. (Tese) Doutorado em Biociências. 189p. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Rosenfield, M. F. & Souza, A. F. (2013). Biomassa e carbono em florestas subtropicais: determinantes, métodos de quantificação e estimativas. *Neotropical Biology and Conservation.* 8(2):103-110. doi: 10.4013/nbc.2013.82.06

Rosenfield, M. F. & Souza, A. F. (2014). Forest biomass variation in Southernmost Brazil: the impact of Araucaria trees. *Rev Biol Trop.* 62(1):359-372.

Ruiz-Jaen, M. C. & Aide, T. M. (2005). Restoration success: How is it being measured? *Restor Ecol.* 13(3):569-577. doi: 10.1111/j.1526-100x.2005.00072.x

Sanquetta, C. R. (2008). Experiências de monitoramento no bioma Mata Atlântica com uso de parcelas permanentes. Curitiba: Fundação Universidade Federal do Paraná. 338p.

Santarosa, E., Oliveira, J. M., Roig, F. A. & Pillar, V. D. (2007). Crescimento sazonal em *Araucaria angustifolia*: evidências anatômicas. *Revista Brasileira de Biociências.* 5(1):618-620.

Stokes, M. A. & Smiley, T. L. (1968). An introduction to tree-ring dating. Chicago, University of Chicago Press.

Suganuma, M. S. & Torezan, J. M. D. (2013). Evolução dos processos ecossistêmicos em reflorestamentos da Floresta Estacional Semidecídua. *Hoenea*. 40(3):557-565. doi: 10.1590/s2236-89062013000300014

Tomazello Filho, M., Lisi, C. S., Hansen, N. & Cury, G. (2004). Características anatômicas das zonas de incremento do lenho de diferentes espécies arbóreas do estado de São Paulo, Brasil. *Scientia Forestalis*. 66:46-55.

Zanine, A. M. & Santos, E. M. (2004). Competição entre espécies de plantas: uma revisão. *Revista da FZVA*. 11(1):10-30.

Zanini, K. J., Bergamin, R. S., Machado, R. E., Pillar, V. D. & Müller, S. C. (2014). Atlantic rain forest recovery: successional drivers of floristic and structural patterns of secondary forest in Southern Brazil. *Journal of Vegetation Science* 25:1056-1068. doi: 10.1111/jvs.12162

Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N. J., Saveliev, A. A., & Smith, G. M. (2009). *Mixed effects models and extensions in ecology with R*. Statistics for biology and health. New York: Springer. doi: 10.1111/j.1541-0420.2009.01315_4.x