

Pinus elliottii Engelm como facilitadora da regeneração natural da mata ciliar em região de Cerrado, Assis, SP, Brasil

Pinus elliottii Engelm as facilitator of riparian forest regeneration in savanna region, Assis, SP, Brazil

Daniela Modna¹, Giselda Durigan² e Marcos Vinícius Carneiro Vital³

Resumo

O presente estudo foi realizado em área ripária de região de Cerrado para verificar se o plantio de espécie exótica de rápido crescimento (*Pinus elliottii* Engelm) influenciaria positiva ou negativamente a comunidade vegetal nativa em regeneração, investigando-se os processos ecológicos envolvidos. Foram comparados quatro tratamentos (plantio de *Pinus* nos espaçamentos 3 x 3 m, 3 x 2 m e 2 x 2 m e controle, sem plantio), instalados com quatro repetições, em blocos ao acaso, em 16 parcelas paralelas ao rio. Foram analisadas variáveis relativas ao crescimento das árvores plantadas e das plantas lenhosas nativas em regeneração, bem como número de espécies, síndromes de dispersão e cobertura do terreno por gramíneas. A densidade das plantas em regeneração, bem como a riqueza e diversidade de espécies, foram maiores quanto maior a densidade das árvores de *Pinus*, demonstrando que, até onze anos após o plantio, as árvores da espécie exótica facilitaram os processos de regeneração da vegetação nativa. A análise das variáveis explanatórias demonstrou que a facilitação decorreu do efeito indireto do sombreamento de *Pinus* e consequente redução da cobertura do terreno pelas gramíneas, inibidoras da regeneração da vegetação nativa. Não é possível prever se os efeitos de facilitação persistirão em longo prazo, sendo necessárias novas avaliações para detectar um possível efeito inibidor das árvores de *Pinus* pela competição com as plantas lenhosas nativas.

Palavras-Chave: Cerrado, Facilitação, Recuperação de matas ciliares, Regeneração natural, Ecologia da restauração

Abstract

This study was conducted in a riparian area of Cerrado (savanna) in order to verify if a native plant community is positively or negatively influenced by reforestation with a fast growing exotic species (*Pinus elliottii* Engelm), on the basis of the ecological processes involved. Four treatments were compared: *Pinus* trees planted at 3 x 3 m, 3 x 2 m and 2 x 2 m, and a control (not planted). Every treatment consisted of four replications in randomized blocks and in 16 plots set along the stream. Variables related to growth for both planted and native species were evaluated, as well as the number of native species regenerating, dispersal syndrome, and also the ground cover by grasses. After eleven years from the beginning of the experiment, the higher the density of *Pinus*, the higher the density, number of species and diversity of native plants regenerating. Therefore the exotic trees facilitated the regeneration processes of native species. Analysis of explanatory variables showed that such facilitation was due to an indirect effect of the shading by *Pinus* trees, which reduced ground grass cover and prevented the inhibitory effect over plant community regeneration and growth. Further evaluations to detect competition between *Pinus* trees and the native community would be necessary to check if the facilitation effects persist in the long term.

Keywords: Savanna, Facilitation, Riparian forest restoration, Natural regeneration, Restoration ecology

INTRODUÇÃO

O custo elevado da restauração de ecossistemas e as dificuldades técnicas para sua execução têm sido obstáculos à implantação de progra-

mas de recuperação em larga escala (FONSECA *et al.*, 2001), de modo que as áreas recuperadas são insignificantes em relação à demanda.

O reflorestamento heterogêneo com espécies nativas tem sido o procedimento recomendado

¹Bióloga do Departamento de Genética e Evolução da Universidade Federal de São Carlos - Rodovia Washington Luiz Km 235 - São Carlos, SP - 13565-905 - Email: danimodna@ufscar.br

²Pesquisadora nível VI do Instituto Florestal - Floresta Estadual de Assis - Caixa Postal 104 - Assis, SP - 19800-000 - Email: giselda@femanet.com.br

³Professor Adjunto do Setor de Biodiversidade e Ecologia do Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal de Alagoas - Praça Afrânio Jorge, s/n - Maceió, AL - 57010-020 - E-mail: mvcvital@hotmail.com

e mais amplamente utilizado em todo o país, mediante o argumento de que possibilita a recuperação sustentável dos recursos bióticos e abióticos dos ecossistemas (KAGEYAMA e GANDARA, 2000; KAGEYAMA *et al.*, 2003). Entretanto, mesmo diante da obrigatoriedade legal e dos benefícios advindos da restauração ambiental com espécies nativas em alta diversidade, a execução de programas de recuperação é dificultada pela carência de assistência técnica e pela limitação de recursos financeiros dos produtores rurais (FONSECA *et al.*, 2001). Quanto pior o estado de degradação das áreas a serem restauradas, maiores os custos de restauração, especialmente quando se utilizam essências nativas. Nesses casos, o plantio de espécies exóticas que sejam mais adaptadas a ambientes inóspitos tem sido utilizado ou recomendado como alternativa na recuperação de ecossistemas e na facilitação dos processos de regeneração natural da vegetação (LUGO, 1992; SILVA JUNIOR *et al.*, 1995; FIMBEL e FIMBEL, 1996; GELDENHUYS, 1997; SARTORI *et al.*, 2002).

A regeneração de espécies vegetais nativas sob plantios comerciais de espécies exóticas, em especial do gênero *Pinus*, tem sido objeto de estudo ao redor do mundo (LUGO, 1992; GELDENHUYS, 1997; KEENAN *et al.*, 1997; ASHTON *et al.*, 1997, entre outros). No Brasil, estudos dessa natureza têm sido realizados com espécies do gênero *Eucalyptus* (SILVA JUNIOR *et al.*, 1995; DURIGAN *et al.*, 1997; SARTORI *et al.*, 2002), sendo raros os estudos de regeneração sob *Pinus*. Regra geral, os estudos demonstraram que a vegetação nativa se regenera com sucesso sob monoculturas florestais, sendo consenso entre os autores o uso de espécies exóticas como facilitadoras em plantios de restauração (ASHTON *et al.*, 1997; CARNEIRO e RODRIGUES, 2007).

O plantio de espécies arbóreas adaptadas – nativas ou exóticas – para acelerar a reabilitação de ambientes degradados previne o agravamento de danos ambientais. O sucesso do plantio de árvores depende do conhecimento sobre a silvicultura das espécies (LUGO, 1992), que nem sempre está disponível para plantas nativas. Em regiões de domínio do Cerrado, os conhecimentos sobre as espécies vegetais nativas e seu cultivo são de tal forma limitados (FONSECA *et al.*, 2001) que a restauração de ecossistemas por meio de plantios heterogêneos com essas espécies tem sido inviável.

A maior eficácia das espécies arbóreas exóticas em colonizar e explorar ambientes degrada-

dos, em comparação com espécies nativas, é uma vantagem para a reabilitação desses ambientes, já que as condições ambientais se tornam mais rapidamente favoráveis ao ingresso e estabelecimento de espécies da flora local (LUGO, 1992).

O cultivo de espécies exóticas promove alterações ambientais positivas, tais como: redução da luminosidade (ASHTON *et al.*, 1997) e do calor excessivo (GELDENHUYS, 1997); acúmulo de biomassa no solo (FIMBEL e FIMBEL, 1996), o que favorece a presença de fauna e a cadeia trófica no sub-bosque (MBOUKOU-KIMBATSA *et al.*, 1998); oferta de abrigo para a fauna dispersora de sementes (CAMUS *et al.*, 2006); maior eficácia no acúmulo de biomassa e sequestro de carbono, em comparação com plantios de essências nativas (MELO e DURIGAN, 2006) e; supressão de espécies exóticas competidoras pelo sombreamento (GELDENHUYS, 1997; FIMBEL e FIMBEL, 1996), tais como gramíneas invasoras. Por esse prisma, as espécies exóticas podem exercer função semelhante à de espécies pioneiras sob condições naturais (TABARELLI *et al.*, 1993; SILVA JÚNIOR *et al.*, 1995).

Por outro lado, existe o risco de que a utilização de espécies exóticas produza prejuízos ao ambiente, especialmente os relacionados com o alto consumo de água do solo (LIMA *et al.*, 1990) e com o potencial de contaminação biológica de ecossistemas naturais (ZANCHETTA e DINIZ, 2006).

O objetivo do presente estudo foi verificar se o plantio de uma espécie exótica de rápido crescimento – *Pinus elliottii* Engelm – facilitaria a regeneração natural de espécies nativas sob suas copas, visando à restauração da vegetação em regiões de cerrado. Buscou-se, ainda, compreender os processos relacionados com a facilitação ou inibição da regeneração das plantas nativas sob as árvores de *Pinus*.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de que trata o presente estudo foi instalado em uma área de pastagem de *Uruchloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster (braquiária), situada próximo à margem direita do córrego Barro Preto, afluente de primeira ordem do rio Paranapanema, no município de Assis, Estado de São Paulo (22° 35' 53" S e 50° 25' 36" W). A vegetação natural nas zonas de interflúvio antes da formação da pastagem era do tipo cerradão, desmatado cerca de 20 anos antes da instalação do experimento. O remanescente dessa vegetação mais próximo, com 180 ha, situa-se

a cerca de 500 m do local do experimento. A menos de 50 m de distância da área experimental, na zona ripária, há pequenos fragmentos de floresta paludícola e de campo úmido.

O solo da área experimental é classificado como Neossolo Quatzarênico Hidromórfico típico, distrófico, A moderado (DURIGAN *et al.*, 2004 a). A altitude local é de 510 m. A região localiza-se na transição de dois tipos climáticos – Cwa e Cfa – segundo a classificação de Köppen, com precipitação média anual de 1400 mm, concentrada entre os meses de novembro e março (FARIA *et al.*, 2004).

O plantio experimental compreendeu quatro tratamentos: plantio de *Pinus elliottii* nos espaçamentos 2 x 2 m, 3 x 2 m e 3 x 3 m e controle (sem plantio de *P. elliottii*). Os tratamentos foram dispostos em blocos ao acaso, com quatro repetições. As 16 parcelas, cada uma medindo 18 x 12 m, foram dispostas paralelamente ao córrego, entre 20 e 40 metros de distância da margem.

O preparo do terreno para o plantio consistiu de uma roçada mecanizada, que eliminou a parte aérea de plantas lenhosas e reduziu a biomassa das gramíneas. O plantio de *Pinus* foi feito em covas, com mudas preparadas em embalagens de 800 mL, evitando-se o revolvimento do solo. Assim, o banco de sementes e estruturas subterâneas de plantas nativas previamente existentes foram preservados.

O experimento foi monitorado após um (1996), três (1998), quatro (1999), seis (2001) e onze anos (2006) da data de plantio (1995). Foi avaliado o crescimento das árvores plantadas e das espécies lenhosas nativas em regeneração. Foi registrado para cada indivíduo: altura total, medida com régua dendrométrica telescópica graduada em centímetros, a partir da altura mínima de 50 cm; diâmetro da copa, obtido pela média entre o maior e o menor diâmetro, medido com trena e; diâmetro à altura do peito (DAP), tomado com fita diamétrica, a 1,30 m acima do nível do solo.

As espécies nativas em regeneração observadas no experimento foram identificadas em campo ou coletadas para identificação posterior, por comparação com exemplares da coleção botânica da Estação Ecológica de Assis, com auxílio de literatura especializada ou, ainda, mediante consulta a especialistas, tendo sido classificadas segundo o Angiosperm Phylogeny Group – APG II (SOUZA e LORENZI, 2005).

As árvores de *Pinus elliottii* e as plantas nativas em regeneração presentes nos diferentes tratamentos foram comparadas ao longo do tempo

em termos de: área basal ($m^2 \cdot ha^{-1}$); cobertura das copas (porcentagem do terreno coberta pela projeção das copas); densidade de indivíduos ($indivíduos \cdot ha^{-1}$); número de espécies em regeneração natural por parcela e; proporção de espécies zoocóricas.

A porcentagem de cobertura do solo por gramíneas em cada parcela, estimada visualmente, foi registrada apenas na última avaliação (fevereiro de 2006). Embora esta variável não tenha sido considerada inicialmente, verificou-se que sofreu forte efeito dos tratamentos após onze anos e poderia contribuir para explicar os resultados.

A análise dos resultados obtidos no experimento foi realizada a partir de duas abordagens: a avaliação do efeito dos tratamentos e do tempo sobre a biomassa de *P. elliottii* e sobre a regeneração da comunidade vegetal nativa e; a avaliação do efeito direto da biomassa de *P. elliottii* sobre a regeneração da comunidade vegetal nativa.

A diferença entre os tratamentos e o efeito do tempo foi analisada a partir de análise de variância de medidas repetidas, tomando-se os diferentes anos como repetições de medidas. A homogeneidade das variâncias foi avaliada por teste F e, quando este pressuposto foi violado, os dados foram transformados por raiz quadrada. Nos casos em que os pressupostos foram violados mesmo após a transformação, ou foi aplicada a análise de variância simples, com os dados do ano de 2006 ou, em casos onde apenas os dados de um único ano violaram os pressupostos, o ano em questão foi excluído. A diferença entre tratamentos, quando encontrada, foi avaliada graficamente, a partir dos intervalos de confiança de 95% (ZAR, 1999).

A avaliação do efeito da biomassa de *P. elliottii* sobre a regeneração, independentemente do delineamento experimental, foi feita por análise de regressão linear entre a biomassa de *P. elliottii* e as variáveis que mediram regeneração (ZAR, 1999). Foi realizada a Análise de Componentes Principais - PCA (MANLY, 1994) com as medidas relacionadas às árvores de *P. elliottii* (DAP, altura, área basal e superfície de copas), de forma a se reduzir a dimensão dos dados, uma vez que esse conjunto de variáveis representa a biomassa das árvores plantadas.

Para analisar os efeitos dos tratamentos sobre a riqueza e a diversidade das espécies em regeneração, foram calculadas duas curvas de rarefação, considerando-se como amostras os anos de coleta. O software EstimateS 8.2 foi usado para a construção das curvas (COLWELL, 2005). A

primeira curva foi calculada analiticamente com os dados de riqueza de espécies em regeneração (COLWELL *et al.*, 2004); a segunda foi calculada com 50 aleatorizações com reposição, a partir dos valores de índice de diversidade de Shannon (MAGURRAN, 2004). As comparações entre os tratamentos foram feitas graficamente a partir dos intervalos de confiança de 95% (ZAR, 1999).

RESULTADOS

Durante todo o monitoramento, foram observadas 59 espécies lenhosas em regeneração. Vinte e uma espécies desenvolveram-se apenas sob as copas de *Pinus*. Nas parcelas controle, quatro espécies exclusivas foram observadas (Tabela 1).

Foram amostrados, em média, 3472 ind.ha⁻¹ nas parcelas controle, 4537 ind.ha⁻¹ sob *Pinus* em espaçamento 3 x 3 m, 4398 ind.ha⁻¹ em espaçamento 3 x 2 m e 5799 ind.ha⁻¹ em espaçamento 2 x 2m.

A informação contida nas variáveis estruturais de *Pinus* (DAP, altura, área basal e superfície de copas) foi submetida à PCA. Esta análise indicou que mais de 90% da variação contida nestes dados é explicada pelo primeiro eixo da

análise, que pode, então, ser utilizado como uma representação da biomassa de *Pinus*. Os autovalores encontrados na PCA, e as respectivas proporções de explicação, foram: 3,72781 (0,931953); 0,203197 (0,050799); 0,058823 (0,014706); 0,010167 (0,002542).

O DAP das árvores de *Pinus* aumentou ao longo do tempo (F = 289,7476; GL = 2; GL_{resíduo} = 18; p < 0,001), mas não foi diferente entre os tratamentos (F = 1,0611; GL = 2; GL_{resíduo} = 9; p = 0,3857; Figura 1A). O mesmo ocorreu com a altura média de *Pinus* em relação ao tempo (F = 193,3443; GL = 3; GL_{resíduo} = 27; p < 0,001) e aos tratamentos (F = 0,1180; GL = 2; GL_{resíduo} = 9; p = 0,890080).

Os dados de altura do ano de 1996 foram excluídos da análise por violarem o pressuposto de variâncias homogêneas (Figura 1B). A cobertura de copas de *Pinus* aumentou ao longo do tempo (F = 357,9299; GL = 4; GL_{resíduo} = 36; p < 0,001), e houve diferença entre os tratamentos (F = 3,0225; GL = 2; GL_{resíduo} = 9; p = 0,099041). Essa variável foi menor no tratamento 3 x 3 m e foi influenciada pela interação entre tempo e tratamentos (F = 1,9326; GL = 8; GL_{resíduo} = 36; p = 0,084952). A diferença entre tratamentos só surgiu no ano de 2006 (Figura 1C; dados transformados por raiz quadrada).

Tabela 1. Densidade de indivíduos (ind.ha⁻¹) das espécies vegetais lenhosas em regeneração sob plantio de *Pinus* em diferentes espaçamentos em área ripária de Cerrado (Assis, SP, Brasil). Controle: sem *Pinus*. Em destaque: espécies observadas apenas nos tratamentos com *Pinus* (cinza escuro) e nas parcelas controle (cinza claro).

Table 1. Density of individuals (ind.ha⁻¹) of woody plant species regenerating under different spacings of *Pinus* plantation in a riparian area of Cerrado domain (Assis, Sao Paulo State, Brazil). Control: no *Pinus*. Highlighted: species observed only under *Pinus* plantation (dark grey) and in control plots (light grey).

Espécies	Densidade de indivíduos por tratamento				
	2 X 2m	3 x 2 m	3 x 3m	Controle	Total
<i>Aegiphila lhotzkyana</i> Cham.	12	0	12	0	6
<i>Aeschynomene selloi</i> Vogel	0	0	0	12	3
<i>Annona dioica</i> A.St.-Hil.	12	0	0	0	3
<i>Baccharis dracunculifolia</i> DC.	0	0	0	58	14
<i>Banisteriopsis stellaris</i> (Griseb.) B.Gates	58	35	93	12	49
<i>Byrsonima intermedia</i> A.Juss.	12	12	0	23	12
<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	35	35	23	0	23
<i>Campomanesia adamantium</i> (Cambess.) O.Berg	0	0	12	0	3
<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	0	0	23	23	12
<i>Cestrum sendtnerianum</i> Mart.	0	0	12	58	17
<i>Chamaecrista flexuosa</i> (L.) Greene	46	93	116	174	107
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	46	46	35	0	32
<i>Cyathea atrovirens</i> (Langsd. & Fisch.) Domin	58	150	23	58	72
<i>Cyathea pungens</i> (Willd.) Domin	150	0	0	0	38
<i>Cyathea delgadii</i> Sternb	116	301	127	0	136
<i>Daphnopsis racemosa</i> Griseb.	0	23	0	12	9
<i>Erythroxylum campestre</i> A.St.-Hil.	12	0	0	0	3
<i>Erythroxylum cuneifolium</i> (Mart.) O.E.Schulz	116	58	93	12	69
<i>Eugenia aurata</i> O.Berg	23	0	23	0	12
<i>Eugenia punicifolia</i> (Humb.; Bonpl. & Kunth) DC.	0	12	12	0	6

Tabela 1 - Continuação. Densidade de indivíduos (ind.ha⁻¹) das espécies vegetais lenhosas em regeneração sob plantio de *Pinus* em diferentes espaçamentos em área ripária de Cerrado (Assis, SP, Brasil). Controle: sem *Pinus*. Em destaque: espécies observadas apenas nos tratamentos com *Pinus* (cinza escuro) e nas parcelas controle (cinza claro).

Table 1 - Continuation. Density of individuals (ind.ha⁻¹) of woody plant species regenerating under different spacings of *Pinus* plantation in a riparian area of Cerrado domain (Assis, Sao Paulo State, Brazil). Control: no *Pinus*. High-lighted: species observed only under *Pinus* plantation (dark grey) and in control plots (light grey).

Espécies	Densidade de indivíduos por tratamento				
	2 X 2m	3 x 2 m	3 x 3m	Controle	Total
<i>Gochnatia barrosii</i> Cabrera	23	12	23	0	14
<i>Ilex affinis</i> Gardn.	208	185	324	718	359
<i>Ilex brasiliensis</i> (Spreng.) Loes.	0	0	12	12	6
<i>Jacaranda caroba</i> (Vell.) A.DC.	104	0	23	0	32
<i>Leandra eichleri</i> Cogn.	35	35	0	69	35
<i>Leandra lacunosa</i> Cogn.	23	12	0	35	17
<i>Lippia velutina</i> Schauer	23	0	0	12	9
<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	116	12	12	12	38
<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Triana	694	590	208	174	417
<i>Miconia chamissois</i> Naudin	2257	1829	1759	1412	1814
<i>Miconia fallax</i> DC.	0	12	0	0	3
<i>Miconia ligustroides</i> (DC.) Naudin	46	58	12	12	32
<i>Miconia stenostachya</i> DC.	12	12	0	23	12
<i>Myrcia bella</i> Cambess.	93	23	69	0	46
<i>Myrcia multiflora</i> (Lam.) DC.	12	0	23	23	14
<i>Ocotea corymbosa</i> (Meisn.) Mez	255	46	58	35	98
<i>Ouratea spectabilis</i> (Mart.) Engl.	0	0	23	0	6
<i>Pera obovata</i> Bail.	23	0	104	0	32
<i>Persea venosa</i> Nees & Mart. ex Nees	23	23	69	23	35
<i>Persea willdenovii</i> Kosterm.	0	23	12	12	12
<i>Pinus elliotii</i> Engelm	0	23	23	35	20
<i>Piper aduncum</i> L.	0	0	0	23	6
<i>Prunus myrtifolia</i> (L.) Urban	0	12	0	23	9
<i>Psychotria anceps</i> Kunth	0	0	0	12	3
<i>Rapanea gardneriana</i> (A. DC.) Mez	0	35	81	23	35
<i>Rapanea umbellata</i> (Mart.) Mez	93	0	12	0	26
<i>Schefflera vinosa</i> (Cham & Schltdl.) Frodin & Fiaschi	23	0	12	0	9
<i>Senna rugosa</i> (G.Don.) H.S.Irwin & Barneby	46	0	81	0	32
<i>Siparuna guianensis</i> Aubl.	23	0	0	23	12
<i>Solanum paniculatum</i> L.	0	23	0	0	6
<i>Stryphnodendron obovatum</i> Benth.	35	12	23	0	17
<i>Styrax camporum</i> Pohl	23	58	12	0	23
<i>Styrax pohlii</i> A. DC.	150	81	162	35	107
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	23	23	23	35	26
<i>Tibouchina gracilis</i> (Bonpl.) Cogn.	0	12	0	23	9
<i>Tibouchina stenocarpa</i> (DC.) Cogn.	278	394	266	104	260
<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltdl.) K. Schum.	46	93	46	12	49
<i>Vochysia tucanorum</i> Mart.	127	58	23	69	69
<i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart.	289	81	301	46	179

Os dados de área basal de *Pinus* violaram os pressupostos da ANOVA de medidas repetidas, mesmo quando transformados por raiz quadrada. Os efeitos do tempo e dos tratamentos foram, então, analisados separadamente por ANOVA simples. A área basal aumentou ao longo do tempo ($F = 195,9386$; $GL = 2$; $GL_{\text{resíduo}} = 33$; $p < 0,001$; dados transformados em raiz quadrada; Figura 1D), e surgiram diferenças significativas entre as áreas basais dos diferentes trata-

mentos: quanto menor o espaçamento, maior a área basal ($F = 9,3795$; $GL = 2$; $GL_{\text{resíduo}} = 9$; $p = 0,006292$; Figura 1E).

O número de espécies em regeneração aumentou ao longo do tempo ($F = 58,17433$; $GL = 4$; $GL_{\text{resíduo}} = 48$; $p < 0,001$), mas não se diferenciou entre os tratamentos ($F = 0,27640$; $GL = 3$; $GL_{\text{resíduo}} = 12$; $p = 0,841342$; Figura 2A). Essa variável não foi influenciada pela biomassa de *Pinus* (regressão linear, $r^2 = 0,1072$; $p = 0,2157$).

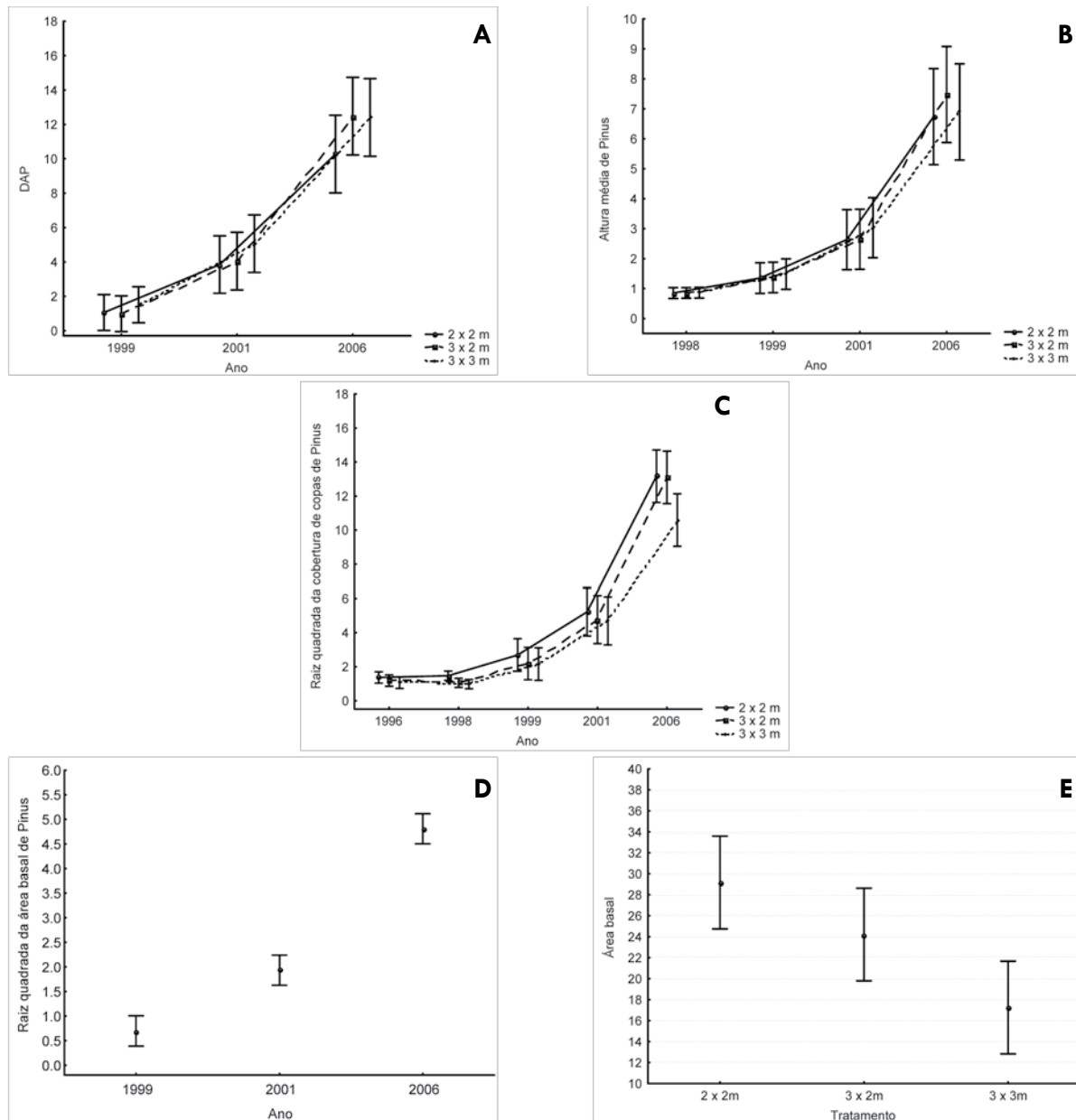


Figura 1. Variáveis de crescimento de *Pinus elliottii* observadas em 11 anos de experimento. Variáveis relativas ao tempo e aos tratamentos: (A) diâmetro à altura do peito (DAP); (B) altura; e (C) cobertura de copas. Variável relativa ao tempo: (D) área basal. Variável relativa aos tratamentos: (E) área basal. Os símbolos representam as médias, e as barras os intervalos de confiança de 95%.

Figure 1. Growth variables of *Pinus elliottii* observed in 11 years of experiment. Variables related to time and treatments: (A) diameter at breast height (DBH); (B) height; and (C) crown cover. Variable related to time: (D) basal area. Variable related to treatments: (E) basal area. Symbols represent means, and bars represent 95% confidence intervals.

A maior parte das espécies em regeneração na área experimental em 2006 era dispersa por zoocoria (75%). A proporção de zoocoria não foi diferente entre os tratamentos ($F = 2,051$; $GL = 3$; $GL_{\text{resíduo}} = 12$; $p = 0,160466$); o ano de 1996 foi excluído das análises, por violar o pressuposto de homogeneidade de variância), nem variou ao longo do tempo ($F = 0,723$; $GL = 3$; $GL_{\text{resíduo}} = 36$; $p = 0,544737$). Entretanto, a biomassa de *Pinus* reduziu significativamente a proporção de indivíduos zoocóricos (Figura 3A; regressão linear, $r^2 = 0,28$; $p = 0,0321$).

Houve efeito do tempo sobre a densidade total de plantas em regeneração ($F = 44,72610$;

$GL = 4$; $GL_{\text{resíduo}} = 48$; $p < 0,001$), mas não houve diferença entre os tratamentos ($F = 0,49924$; $GL = 3$; $GL_{\text{resíduo}} = 12$; $p = 0,689758$; Figura 2B). Por outro lado, a biomassa de *Pinus* influenciou positivamente a densidade total de indivíduos em regeneração (Figura 3B; regressão linear, $r^2 = 0,2025$; $p = 0,0803$).

Para a cobertura de copas das plantas em regeneração, houve efeito do tempo ($F = 54,29845$; $GL = 3$; $GL_{\text{resíduo}} = 36$; $p < 0,001$), mas não dos tratamentos ($F = 0,48679$; $GL = 3$; $GL_{\text{resíduo}} = 12$; $p = 0,697797$; Figura 2C; os dados do ano de 1996 foram retirados da análise por ferirem o pressuposto de homogeneidade de variância).

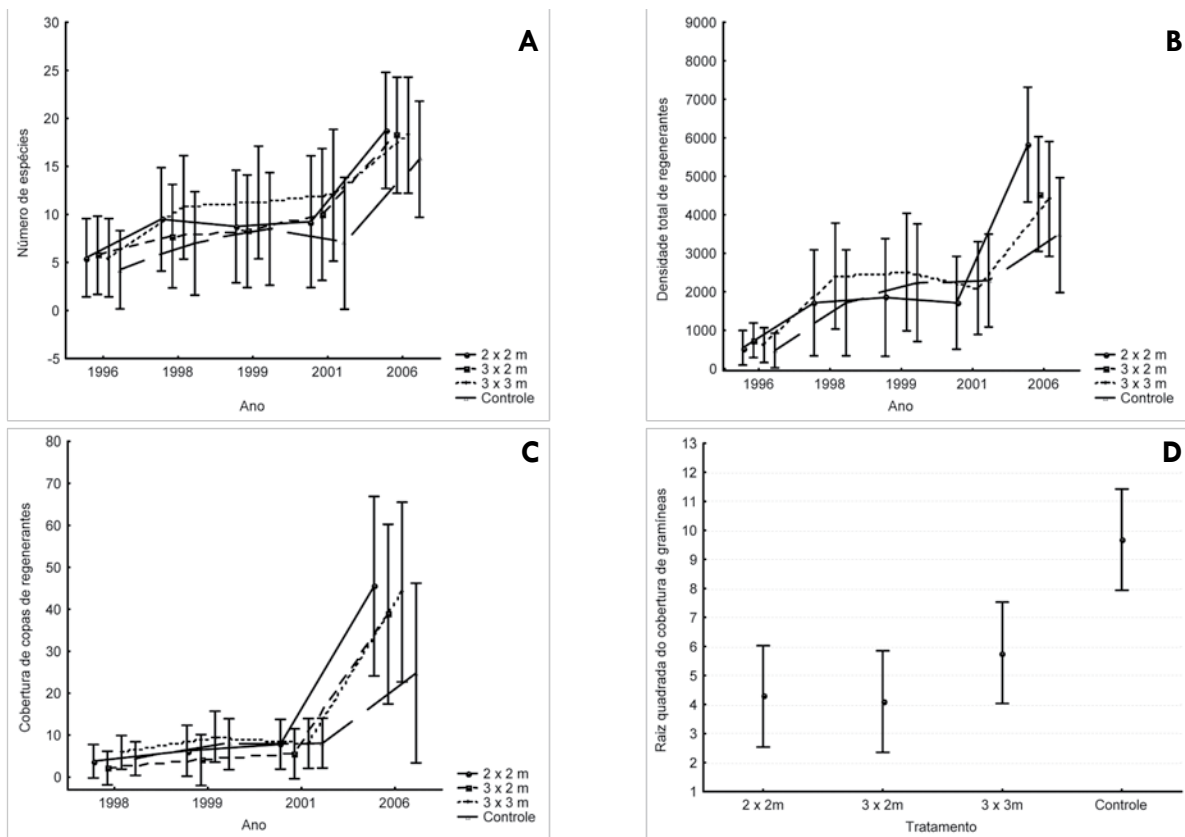


Figura 2. Variáveis de crescimento da comunidade em regeneração observadas em 11 anos de experimento: (A) número de espécies nativas em regeneração em relação ao tempo e aos tratamentos; (B) densidade total de plantas nativas em regeneração em relação ao tempo e aos tratamentos; (C) cobertura de copas de plantas nativas em regeneração em relação ao tempo e aos tratamentos; e (D) cobertura do terreno por gramíneas (dados transformados por raiz quadrada) em relação aos tratamentos. Os símbolos representam as médias, e as barras os intervalos de confiança de 95%.

Figure 2. Growth variables of community in regeneration observed in 11 years of experiment: (A) number of native species in regeneration related to time and treatments; (B) total density of native plants in regeneration related to time and treatments; (C) crown cover of native plants in regeneration related to time and treatments; and (D) ground cover by grasses (data transformed in square root) related to treatments. Symbols represent means, and bars represent 95% confidence intervals.

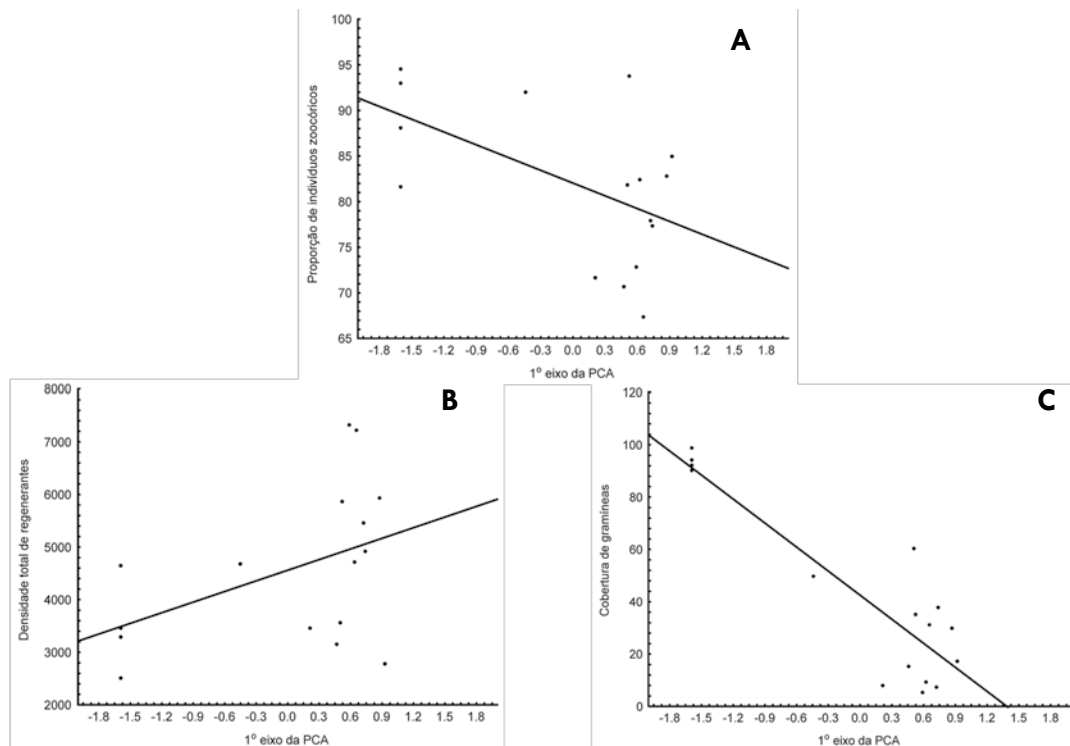


Figura 3. Regressões lineares representadas pelo 1º eixo da PCA entre biomassa de *Pinus* e (A) proporção de indivíduos zoocóricos; (B) densidade de plantas em regeneração; e (C) cobertura do terreno por gramíneas.

Figure 3. Linear regressions represented by 1st PCA axis between *Pinus* biomass and (A) zoochoric plants; (B) density of individuals in regeneration; and (C) ground covering by grasses.

Diferenças significativas foram observadas entre os tratamentos quanto à proporção do terreno ocupada por gramíneas (Figura 2D), que no momento inicial do experimento era 100% em todos os tratamentos. O tratamento 3 x 3 m apresentou maior quantidade de gramíneas do que 2 x 2 m e 3 x 2 m, e o controle apresentou mais gramíneas do que todos os tratamentos com *Pinus*. Este efeito também foi confirmado pela relação negativa e significativa que a biomassa de *Pinus* teve sobre a cobertura de gramíneas (Figura 3C; regressão linear, $r^2 = 0,7976$; $p < 0,001$).

As duas curvas de rarefação calculadas apresentaram resultados distintos (inferências feitas pelos intervalos de confiança de 95%). Quando apenas a riqueza de espécies foi considerada, somando-se todas as amostras (anos de coleta), observou-se que: o tratamento 2 x 2 m apresentou riqueza significativamente maior do que a do tratamento 3 x 2 m e do controle; o tratamento 3 x 3 m apresentou riqueza maior do que a do controle e; a riqueza do tratamento 3 x 2 m não foi significativamente diferente da riqueza das parcelas controle (Figura 4A). Porém, quando as curvas foram calculadas a partir do índice de diversidade de Shannon, a diversidade não se mostrou significativamente diferente entre os tratamentos com *Pinus*, mas foi sempre maior que a diversidade das parcelas controle (Figura 4B).

Os resultados das diferentes análises foram aparentemente conflitantes: não houve efeito significativo dos tratamentos ou da biomassa de *Pinus* sobre a riqueza de espécies em regeneração, de acordo com os resultados da ANOVA de medidas repetidas e da regressão linear, respectivamente. Entretanto, a análise das curvas de rarefação mostrou diferenças entre a riqueza total, que foi maior nos tratamentos com *Pinus* em 2 x

2 m e 3 x 3 m do que nas parcelas controle, e na diversidade, representada pelo índice de Shannon, maior em todos os tratamentos com *Pinus* do que no controle.

DISCUSSÃO

A constatação de que a densidade das plantas nativas em regeneração foi diretamente proporcional à biomassa de *Pinus* descarta a hipótese de que a espécie exótica cause inibição da regeneração natural das espécies nativas pela competição, ao menos no período de onze anos desde o plantio. Visto que a proporção de plantas zoocóricas foi maior nas parcelas controle e é decrescente com a biomassa das árvores de *Pinus*, descarta-se a hipótese de que a facilitação da regeneração pelo *Pinus* seja resultado da ação da fauna dispersora que, ao procurar as árvores plantadas como abrigo, traria sementes da vegetação nativa das adjacências.

Outra explicação possível para a maior densidade de plantas em regeneração sob *Pinus* no tratamento 2 x 2 m é a correlação inversa entre a biomassa de *Pinus* e a cobertura do terreno por gramíneas, indicando que à medida que a área foi ocupada pelas árvores exóticas, as gramíneas foram suprimidas pelo sombreamento, conforme observado por Fimbel e Fimbel (1996) e Geldenhuys (1997).

Algumas espécies de ambientes diversos – cerrado e mata ripária – foram encontradas exclusivamente nas parcelas com *Pinus*. O desenvolvimento de espécies típicas de matas ripárias, como *Cyathea delgadii* e *Calophyllum brasiliense*, deveu-se às condições de umidade e sombreamento sob as copas de *Pinus*. Já a presença de espécies comuns de cerrado, como *Senna rugosa*,

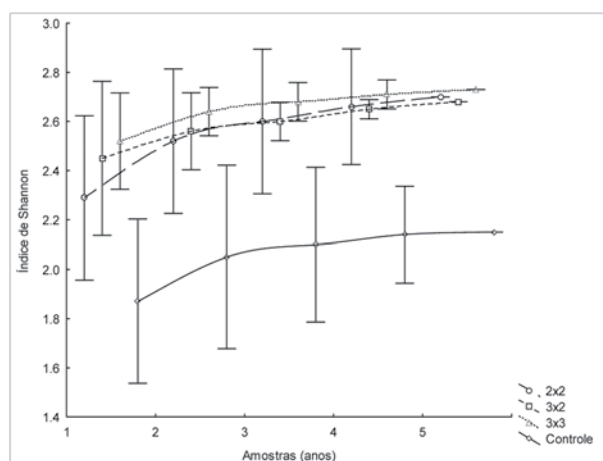
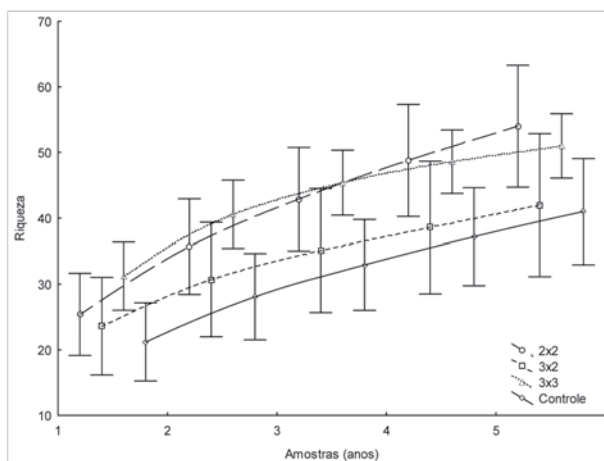


Figura 4. Curvas de rarefação da riqueza de espécies em regeneração (A) e do índice de diversidade de Shannon (B). Cada ano de avaliação foi considerado como uma amostra.

Figure 4. Rarefaction curves of regenerating species richness (A) and Shannon's diversity index (B). Each year of evaluation was considered as a sample.

Pera obovata e *Myrcia bella*, no sub-bosque de *Pinus* se explica pelo fato das mesmas ocorrerem também em matas. Típicas de cerrado e descritas como heliófitas, *Campomanesia adamantium* e *Eugenia puniceifolia* foram observadas no sub-bosque de *Pinus*. Ambas têm crescimento lento no cerrado e não suportam a competição com gramíneas invasoras. Este parece ser também o caso de exemplos como *Schefflera vinosa*, *Oureatea spectabilis*, *Eugenia aurata* e *Erythroxylum campestre*. As espécies de cerrado conseguiram, até 2006, se desenvolver sob *Pinus* nas porções do terreno em que o solo era bem drenado e o sombreamento, menos intenso. A redução da população das gramíneas competidoras parece ter sido decisiva para o sucesso das espécies que se desenvolveram somente sob *Pinus*.

Espécies pioneiras, comuns em bordas e clareiras (*Aeschynomene selloi*, *Baccharis dracunculifolia* e *Piper aduncum*) ou, no caso de *Psychotria anceps*, típica de campo úmido, foram observadas exclusivamente nas parcelas controle. São espécies intolerantes à sombra e indiferentes à presença de gramíneas, tais como as espécies predominantes nas parcelas controle.

A inibição dos processos de regeneração de plantas nativas do cerrado em áreas ocupadas por gramíneas invasoras, apontada por diversos estudos como um importante obstáculo à conservação e restauração desse ecossistema (HOFFMANN e HARISADAN, 2008, entre outros), confirmou-se neste experimento.

A facilitação da regeneração natural exercida pelo plantio de *Pinus* expressa pela maior densidade das plantas nativas em relação à maior biomassa da espécie exótica seria, portanto, um efeito indireto decorrente da supressão das gramíneas pelo sombreamento.

Tal fato reforça a teoria de que, em plantios de restauração, a presença de gramíneas representa um dos principais filtros ecológicos a dificultar o estabelecimento de plantas nativas nas áreas em restauração, conforme D'Antonio e Vitousek (1992).

Além de contribuir para a redução da densidade de indivíduos, a presença de gramíneas invasoras parece afetar também o número e a diversidade total de espécies. O tratamento dos dados explica as discrepâncias surgidas entre as diferentes análises. Nas curvas de rarefação, se considerou cada ano como uma amostra. Os dados das parcelas de cada tratamento foram somados, o que permitiu a visão geral do efeito de *Pinus* sobre a riqueza e a diversidade ao

longo de todo o processo de regeneração, diferente das análises que compararam a riqueza em cada ano (ANOVA de medidas repetidas) ou que mediram o efeito da biomassa de *Pinus* sobre a riqueza em um único ano (a regressão linear). Assim, mesmo não tendo sido observado o efeito dos tratamentos sobre a riqueza de espécies ao se comparar os diferentes anos de amostragem, as curvas de rarefação permitiram visualizar a influência da presença de *Pinus* na riqueza (nos tratamentos 2 x 2 m e 3 x 3 m) e na diversidade (em todos os tratamentos com *Pinus*) quando consideradas todas as espécies em regeneração que se estabeleceram, mesmo que temporariamente, ao longo do processo de sucessão (11 anos).

O efeito facilitador exercido pelas árvores de *Pinus* poderia ser obtido pelo plantio de qualquer outra espécie, exótica ou nativa, que desempenhasse a mesma função, ou mesmo pelo controle químico das gramíneas. A vantagem, nas condições deste experimento, seria o curto tempo para eliminação das gramíneas, uma vez que o crescimento do *Pinus* é muito mais rápido que o de espécies nativas, como verificado em diversos plantios experimentais em regiões de cerrado (DURIGAN e SILVEIRA, 1999; DURIGAN *et al.*, 2004 b; MELO e DURIGAN, 2006).

Com base apenas nos resultados obtidos em onze anos, não é possível prever se as árvores de *Pinus* continuarão facilitando a regeneração indefinidamente. Todavia, outros estudos indicam que, em longo prazo, as árvores de *Pinus* podem passar a inibir a regeneração das plantas nativas pela competição (DURIGAN e SILVEIRA, 1999; MELO e DURIGAN, 2006).

No plantio experimental de que trata o presente estudo, a área basal nos espaçamentos mais adensados já supera a área basal da mata ciliar nativa mencionada. Assim, é possível que as árvores de *Pinus* passem a inibir o desenvolvimento da vegetação nativa. A retirada das árvores exóticas seria então necessária visando à continuidade da regeneração da vegetação nativa (CAMUS *et al.*, 2006). Nas condições deste experimento, recomenda-se que o procedimento seja feito antes que a idade reprodutiva seja alcançada, pois *Pinus elliottii* é reportada como invasora (ZANCHETTA e DINIZ, 2006). Em 2006, já existiam plantas de *Pinus* em regeneração na área experimental, ainda que em baixa densidade.

Provocar a morte das árvores em pé poderia ser uma solução adequada, mas técnicas eficazes para tal estão por ser desenvolvidas.

CONCLUSÕES

Até onze anos após o plantio, as árvores de *Pinus elliottii* exerceram ação facilitadora da regeneração de espécies nativas em seu sub-bosque, sendo maior a densidade de plantas em regeneração quanto maior a biomassa de *Pinus*. Ao se comparar as espécies predominantes e exclusivas nos diversos tratamentos, constatou-se que as condições criadas por *Pinus* permitem que mais espécies nativas de diferentes ambientes – cerrado, matas seca e ripária – ocupem o sub-bosque. Nas parcelas controle, predominaram espécies campestres e ruderais. Tal fato foi corroborado pelo efeito dos tratamentos mais adensados de *Pinus* sobre a riqueza total e de todos os tratamentos com *Pinus* sobre o índice de diversidade de Shannon, detectado ao se considerar todas as espécies em regeneração durante 11 anos de sucessão.

A ação facilitadora pelo *Pinus* não decorreu da atração de dispersores, uma vez que a proporção de plantas zoocóricas foi decrescente com o aumento da biomassa das árvores de *Pinus*. Tal ação foi efeito indireto do sombreamento pelo *Pinus* e consequente redução da cobertura do piso pelas gramíneas, que exercem conhecida ação inibidora sobre os processos de regeneração das plantas lenhosas nativas.

Não é possível prever se os efeitos de facilitação persistiriam em longo prazo, sendo necessárias novas avaliações para detectar um possível efeito inibidor das árvores de *Pinus* pela competição com as plantas lenhosas nativas, o que demandaria operações de manejo para ser evitado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao pesquisador Marco A. de O. Garrido, idealizador do experimento; a Wilson A. Contieri, Mitsuro Kawabata, Éliton R. da Silveira, Edivaldo Furlan e Edson Damasceno, pela contribuição na coleta de dados; ao CNPq, pela bolsa de produtividade em pesquisa concedida a Dra. Giselda Durigan.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHTON, P.M.S.; GAMAGE, S.; GUNATILLEKE, I.A.U.N.; GUNATILLEKE, C.V.S. Restoration of a Sri Lankan rain forest: using caribbean pine *Pinus caribaea* as a nurse for establishing late successional tree species. *Journal of Applied Ecology*, London, v.34, p.915-925, 1997.

CAMUS, J.M.; PARROTTA, J.; BROCKERHOFF, E.; ARBEZ, M.; JACTEL, H.; KREMER, A.; LAMB, D.; O'HARA, K.; WALTERS, B. Planted forests and biodiversity. *Journal of Forestry*, Bethesda, v.104, p.65-77, 2006.

CARNEIRO, P.H.M.; RODRIGUES, R.R. Management of monospecific commercial reforestations for the forest restoration of native species with high diversity. In: RODRIGUES, R.R.; MARTINS, S.V.; GANDOLFI, S. (Eds.) *High diversity forest restoration in degraded areas: methods and projects in Brazil*. New York: Science Publishers, 2007. p.129-144.

COLWELL, R.K. *EstimateS - statistical estimation of species richness and shared species from samples. User's guide*. 2005. Disponível em: <http://purl.oclc.org/estimates>. Acesso em: 01 setembro 2008.

COLWELL, R.K.; MAO, C.X.; CHANG, J. Interpolating, extrapolating, and comparing incidence-based species accumulation curves. *Ecology*, Ithaca, v.85, p.2717-2727, 2004.

D'ANTONIO, C.M.; VITOUSEK, P.M. Biological invasions by exotic grasses, the grass/fire cycle, and global change. *Annual Review of Ecology and Systematics*, Palo Alto, v.23, p.63-87, 1992.

DURIGAN, G.; SILVEIRA, E.R. Recomposição da mata ciliar em domínio de cerrado, Assis, SP. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n.56, p.135-144, 1999.

DURIGAN, G.; CONTIERI, W.A.; MELO, A.C.G.; GARRIDO, M.A.O. Regeneração da mata ciliar sob plantio de *Pinus elliottii* var. *elliottii* em diferentes densidades. In: VILAS BÔAS, O.; DURIGAN, G. (Orgs.) *Pesquisas em conservação e recuperação ambiental no oeste paulista: resultados da cooperação Brasil-Japão*. São Paulo: Páginas e Letras Editora e Gráfica, 2004a. p.363-376.

DURIGAN, G.; CONTIERI, W.A.; MELO, A.C.G.; NAKATA, H. Crescimento e sobrevivência de espécies arbóreas plantadas em terreno permanentemente úmido em região de Cerrado. In: VILAS BÔAS, O.; DURIGAN, G. (Orgs.) *Pesquisas em conservação e recuperação ambiental no oeste paulista: resultados da cooperação Brasil-Japão*. São Paulo: Páginas e Letras Editora e Gráfica, 2004b. p.447-456.

DURIGAN, G.; FRANCO, G.A.D.C.; PASTORE, J.A.; AGUIAR, O.T. Regeneração natural da vegetação de Cerrado sob floresta de *Eucalyptus citrodora*. *Revista do Instituto Florestal*, São Paulo, v.9, n.1, p.71-85, 1997.

- FARIA, A.J.; CONTIERI, W.A.; KAWABATA, M.; BERTO, E.A. Monitoramento micrometeorológico em cinco ambientes com cobertura vegetal distinta. In: VILAS BÔAS, O.; DURIGAN, G. (Orgs.) **Pesquisas em conservação e recuperação ambiental no oeste paulista: resultados da cooperação Brasil-Japão**. São Paulo: Páginas e Letras Editora e Gráfica, 2004. p.93-108.
- FIMBEL, R.A.; FIMBEL, C.C. The role of exotic conifer plantations in rehabilitating degraded tropical forest lands: a case study from Kibale National Park in Uganda. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.81, p.215-226, 1996.
- FONSECA, C.E.L.; RIBEIRO, J.F.; SOUZA, C.C.; REZENDE, R.P.; BALBINO, V.K. Recuperação da vegetação de Matas de Galeria: estudos de caso no Distrito Federal e entorno. In: RIBEIRO, J.F.; FONSECA, C.E.L.; SOUSA-SILVA, J.C. (Eds.) **Cerrado: caracterização e recuperação de Matas de Galeria**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2001. p.815-870.
- GELDENHUYS, C.J. Native forest regeneration in pine and eucalypt plantations in Northern Province, South Africa. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.99, p.101-115, 1997.
- HOFFMANN, W.A.; HARIDASAN, M. The invasive grass, *Melinis minutiflora*, inhibits tree regeneration in a Neotropical savanna. **Austral Ecology**, Alice Springs, v.32, p.29-36, 2008.
- KAGEYAMA, P.Y.; GANDARA, F.B. Recuperação de áreas ciliares. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F. (Eds.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2000. p.249-269.
- KAGEYAMA, P.Y.; GANDARA, F.B.; OLIVEIRA, R.E. Biodiversidade e restauração da floresta tropical. In: KAGEYAMA, P.Y.; OLIVEIRA, R.E.; MORAES, L.F.D.; ENGEL, V.L.; GANDARA, F.B. (Orgs.) **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, 2003. p.27-48.
- KEENAN, R.; LAMB, D.; WOLDRING, O.; IRVINE, T.; JENSEN, R. Restoration of plant biodiversity beneath tropical tree plantations in Northern Australia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.99, p.117-131, 1997.
- LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B.; LIBARDI, P.L.; SOUZA FILHO, A.P. Comparative evapotranspiration of *Eucalyptus*, Pine and natural "cerrado" vegetation measure by the soil water balance method. **IPEF International**, Piracicaba, v.1, p.5-11, 1990.
- LUGO, A.E. Comparison of tropical tree plantations with secondary forests of similar age. **Ecological Monographs**, Ithaca, v.62, n.1, p.1-41, 1992.
- MAGURRAN, A.E. **Measuring biological diversity**. Malden: Blackwell Publishing, 2004.
- MANLY, B.F.J. **Multivariate statistical methods: a Primer**. London: Chapman and Hall, 1994.
- MBOUKOU-KIMBATSA, I.M.C.; BERNHARD-REVERSAT, F.; LOUMETO, J.J. Change in soil macrofauna and vegetation when fast-growing trees are planted on savanna soils. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.110, p.1-12, 1998.
- MELO, A.C.G.; DURIGAN, G. Fixação de carbono em reflorestamentos de matas ciliares no Vale do Paranapanema, SP, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.71, p.149-154, 2006.
- SARTORI, M.S.; POGGIANI, F.; ENGEL, V.L. Regeneração da vegetação arbórea no sub-bosque de um povoamento de *Eucalyptus saligna* Smith localizado no estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.62, p.86-103, 2002.
- SILVA JÚNIOR, M.C.; SCARANO, F.R.; CARDEL, F.S. Regeneration of an Atlantic Forest formation in the understory of a *Eucalyptus grandis* plantation in south-eastern Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v.11, p.147-152, 1995.
- SOUZA, V.C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2005. 640p.
- TABARELLI, M.; VILLANI, J.P.; MANTOVANI, W. A recuperação da floresta atlântica sob plantios de *Eucalyptus* no núcleo Santa Virginia, SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v.5, n.2, p.182-201, 1993.
- ZANCHETTA, D.; DINIZ, F.V. Estudo da contaminação biológica por *Pinus* spp. em três diferentes áreas na Estação Ecológica de Itirapina, SP, Brasil. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v.18, p.1-14, 2006.
- ZAR, J.H. **Biostatistical analysis**. New Jersey: Prentice-Hall, 1999.

Recebido em 27/04/2009

Aceito para publicação em 08/02/2010

