Thiago Mitonori Pereira

Efeitos da nucleação nas respostas fisiológicas
de mudas arbóreas em uma área de restauração
ecológica

Effects of nucleation on physiological
responses of tree seedlings in an ecological
restoration area

Versão Corrigida

São Paulo

2014

Thiago Mitonori Pereira

Efeitos da nucleação nas respostas fisiológicas
de mudas arbóreas em uma área de restauração
ecológica

Effects of nucleation on physiological
responses of tree seedlings in an ecological
restoration area

Dissertação apresentada ao Instituto
de Biociências da Universidade de
São Paulo, para a obtenção de Título
de Mestre em Ciências, na Área de
Ecologia.

Orientador(a): Profa. Dra. Adriana
Maria Zanforlin Martini

Versão Corrigida

São Paulo

2014

Ficha Catalográfica

Pereira, Thiago Mitonori
Efeitos da nucleação nas respostas
fisiológicas de mudas arbóreas em uma área
de restauração ecológica
69 páginas

Dissertação (Mestrado) - Instituto de
Biociências da Universidade de São Paulo.
Departamento de Ecologia.

1. Fluorescência da Clorofila 2.
Facilitação 3. Planície Costeira I.
Universidade de São Paulo. Instituto de
Biociências. Departamento de Ecologia.

Comissão Julgadora:

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr(a).

Orientador(a)

Dedicatória

Ao meu querido tio Mitonori,
pelo orgulho ser seu afilhado
e por tudo que me ensinou.

Epígrafe

Nos preocupamos tanto
Com coisas complicadas
Que esquecemos a alegria das coisas simples.
Perdemos tanto tempo dizendo que o tempo voa
E não aproveitamos o tempo que temos.
Fazemos tudo para enriquecer
E esquecemos o tesouro enterrado em nossos corações.
Nessa batalha interminável
Não sabemos quem é o inimigo
Lutamos contra todos.
Estamos sempre correndo para chegar primeiro
Não sabemos onde exatamente queremos chegar
Pois não pensamos nisso antes.
Pare! Pare um pouco...
Olhe ao seu redor
Olhe para mim
Por que tão longe ir à procura da felicidade?
Ela está ao seu lado
Ela está em você.
Por que procurar mil maneiras de dizer o que sentimos
Como se fosse algo tão complicado?
Não há o que falar
O amor não se descreve, não se explica
Não se justifica
Apenas se sente.
Eu simplesmente te amo!

Heiddy Adoryan, *Tão simples*

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à Deus e meus pais por estar vivo e por tudo que conquistei e aprendi. Simplesmente a base de tudo pra mim.

Agradeço à Profa. Adriana Maria Zanforlin Martini pela orientação principalmente acadêmica, mas também pessoal e profissional. Um exemplo de pesquisadora e de ser humano, cujas lições eu levarei para toda minha vida. Agradeço pelo apoio e compreensão o nos momentos difíceis e por tudo que me foi proporcionado nesses anos de parceria. Agradeço por me levar ao Labtrop, onde aprendi muito com a sua orientação e com os demais integrantes, e tive momentos inesquecíveis. Desde antes do Labtrop essa interação ecológica foi muitíssimo positiva para mim. Sempre será uma referência de profissional e uma grande amiga.

Ao Prof. Sérgio Tadeu Meirelles pela colaboração imprescindível nesse projeto, disponibilizando todo o equipamento para a coleta dos dados ecofisiológicos juntamente com a Infraestrutura do Laboratório de Ecofisiologia, ensinando o uso adequado dos equipamentos. Também agradeço pela orientação “ecofisiológica” nas reuniões do comitê e principalmente fora delas, pelos papos cabeça e os sem pé nem cabeça, e por momentos muito divertidos junto aos seus alunos.

Ao Prof. Alexandre Adalardo de Oliveira, o imperador soberano do Labtrop por me receber no laboratório de portas abertas, estando sempre disponível para minhas dúvidas, além de colaborar com sugestões nos comitês e sempre que solicitei. Sua forma de fazer pesquisa e de pensar, que fica clara em cada comentário, me ajudou devido à minha falta de pragmatismo.

Ao Prof. Paulo Inácio de Knecht López de Prado pela inestimável ajuda com a seleção de modelos, sendo um verdadeiro Guru no mundo da inferência estatística por verossimilhança e dos modelos mistos. É incrível como sua explicação para estatística aplicada a biologia faz o que parece monstro fazer todo sentido.

Ao Ricardo Bertoncello por disponibilizar dados do seu trabalho, pela revisão do meu estudo, por ter dado o embrião para o grande projeto de restauração na UTGCA, dando-me a oportunidade de realizar algo que eu sonhei em trabalhar.

Ao Marcelo Pansonato por ter sido um grande parceiro, pelo apoio na coordenação da equipe do monitoramento de crescimento e sobrevivência das mudas. Por ter me ensinado tudo sobre a área do plantio, sendo essencial para implantação do projeto em campo. E por fim, por receber sempre bem a mim e meus ajudantes nas idas para campo. Agradeço também à equipe do monitoramento, sobretudo a Daise que me ajudou em campo.

Ao André Cabral, da gerência setorial de meio ambiente da UTGCA por todo apoio logístico dentro UTGCA e pela ajuda na obtenção dos dados climáticos da UTGCA ao me colocar em contato com o Sr. Fernando Almeida coordenador do monitoramento ambiental da UO-BS, e com o Sr. Edson Martins da Mineral Engenharia, os quais também agradeço por disponibilizar os dados climáticos.

À Juliana Vendrami pela ajuda em diversos momentos durante o mestrado, pela discussões sobre estatística e ecologia e pelas sugestões na revisão de texto. Suas dicas me salvaram em vários momentos.

À Ivy Chiarelli por todo apoio logístico no projeto e pela amizade. Obrigado pelas sugestões e pelo apoio em vários momentos difíceis.

À todos que me ajudaram em campo: Melina Melito, Helena Azevedo, Daniele Bispo, Bruno Sano(Ivo), Renata Montalvão, Felipe Menezes, Daise, Mariana Tonon, Juliano de Moraes e Felipe Adoryan. Nesse grupo agradeço aos amigos Melina, Helena , Ivo, Felipe e Juliano por diversas conversas estimulantes, sugestões profissionais e pessoais. Aprendi com cada um, muito obrigado.

À todos que participaram do curso de campo: pratica da pesquisa em Ecologia da Mata Atlântica 2013. Em especial aos integrantes dos grupos “GAPE” (Felipe Oricchio “Picasso”, Júliana Córrea e Karine Costa) e do “Costão Gostoso” (Fernando Rossine “Pizza”, Renata Vaz, Juarez Cabral), aos coordenadores, monitores e aos nossos orientadores. Essa experiência me forneceu além de arcabouços teóricos e metodológicos para pesquisa em ecologia, um autoconhecimento inacreditável. Agradeço ao Pizza, ao Toshiba, e à Helena por me ajudarem com a revisão do resumo do presente estudo.

Ao Laboratório de Ecologia de Florestas Tropicais, o Labtrop, e a toda sua equipe, por proporcionarem a base física e teórica do meu trabalho, pelas discussões

de texto tão importantes e por me dar luz do que é, e de como fazer ciência. Agradeço em especial à Leda, à Camila e ao Gabriel.

Ao Laboratório de Ecofisiologia do IB/USP e toda sua equipe cuja interação me rendeu muito aprendizado, trabalho e momentos alegres. Sérgio, Cris, Lika, Juliano, Joyce, Bruna e Bira vocês fizeram cada ida ao laboratório um momento de prazer.

À Petrobras pelo apoio financeiro, pela parceria com o Labtrop, disponibilizando a área do estudo, e por permitir o acesso à UTGCA.

Aos funcionários da UTGCA pelo apoio e por garantir nossa segurança na área do plantio.

À Fundespa pela administração dos recursos fornecidos pela Petrobras.

À CAPES pela bolsa de mestrado.

À Heiddy Adoryan pelo que é o mais importante nessa vida, pelo apoio e parceria em cada momento nesses anos de mestrado e por me ajudar em algumas passagens de dados para planilhas.

Por fim agradeço à todos do Programa de Pós Graduação em Ecologia da USP, funcionários, discentes e docentes que de alguma forma interagiram comigo direta ou indiretamente e fizeram parte da minha formação nesses últimos dois anos.

Índice

I - Resumo	01
II - Abstract	03
III - Introdução	05
IV - Objetivos	11
IV - Materiais e Métodos	
1. Área de estudo	12
2. Desenho experimental	12
3. Procedimentos de campo	
3.1. Eficiência fotossintética máxima	17
3.2. Pigmentos fotossintéticos	18
3.3 Temperatura foliar e do solo	19
4. Períodos de coleta	20
5. Análise de dados	21
V – Resultados	
1. Eficiência fotossintética máxima	24
2. Pigmentos fotossintéticos	26
3 Temperatura foliar e do solo	35
VI – Discussão	38
VII – Conclusões	45
VIII – Referências Bibliográficas	46
IX – Apêndices	59

Resumo

A nucleação é uma técnica de restauração florestal pela qual se espera que o plantio agregado de mudas aumente o recrutamento e o estabelecimento de espécies, uma vez que o crescimento de algumas plantas pode fornecer melhores condições ambientais para as plantas vizinhas. Porém, o plantio agregado também pode intensificar a competição por nutrientes entre as plantas. Espera-se que o efeito de facilitação por algumas espécies no núcleo seja maior para espécies não pioneiras, que são mais sensíveis a altas irradiâncias e melhores competidoras por nutrientes. Para espécies pioneiras, tolerantes a altas irradiâncias e piores competidoras por nutrientes, os núcleos devem ser desfavoráveis. A adição de nutrientes pode minimizar a competição e tornar os núcleos mais favoráveis, principalmente às espécies pioneiras. Com o objetivo de avaliar respostas de mudas à nucleação e à adição de nutrientes, foram avaliados a eficiência fotossintética máxima (F_v/F_m) e o teor de pigmentos fotossintéticos em mudas plantadas em uma área degradada na planície costeira do litoral norte de São Paulo. Temperaturas foliares e do solo foram medidas para avaliar o potencial do núcleo em minimizar microclimas extremos. As mudas foram plantadas em parcelas, cada uma com uma combinação de tipo de plantio, em núcleo ou em linha, e tipo de adubo aplicado, com adubo químico (NPK), com terra vegetal ou sem adubação. Os núcleos foram compostos de 13 mudas de espécies diferentes, sendo 5 pioneiras e 8 não pioneiras. As mudas foram separadas entre si por distâncias de aproximadamente 30 cm. Nas linhas as mudas foram plantadas isoladas entre si por 2 m. Mudas plantadas no sistema de nucleação apresentaram maior F_v/F_m e teor de clorofilas *a*, *b* e total ($a+b$), indicando predomínio da facilitação entre as espécies nos núcleos. Menores temperaturas foliares e do solo foram encontradas em núcleos. Tanto plantas de espécies pioneiras quanto não pioneiras apresentaram sinais de fotoinibição, com valores de F_v/F_m abaixo do considerado como livre de estresse, quando plantadas tanto em linhas quanto em núcleos. Os sinais de fotoinibição foram maiores para o grupo de não pioneiras, com menores valores de F_v/F_m . Considerando o predomínio

das interações positivas entre as espécies nos núcleos e que os núcleos beneficiaram tanto pioneiras quanto não pioneiras, o presente estudo agrega mais informações aos efeitos da nucleação e fornece mais um subsídio para a recomendação da utilização dessa técnica em restauração ecológica.

Abstract

Nucleation of seedlings is a technique for forest restoration in which is expected that the aggregated planting of seedlings increases the recruitment and establishment of species. This would occur because the growth of some species can provide better environmental conditions to neighboring plants. However, the aggregated planting can also intensify the competition for nutrients between plants. It is expected that the facilitation effect of some species in the nuclei are greater for the non-pioneers species that are more sensitive to high light intensities and better competitors for nutrients. For pioneers that are tolerant to high irradiance and worst competitors, the nuclei must be unfavorable. The addition of nutrients can minimize the competition and then turn the nuclei more favorable, especially to the pioneer species. In order to evaluate the responses of seedlings to the nucleation and the addition of nutrients were measured the maximum photosynthetic efficiency (F_v/F_m) and the content of photosynthetic pigments at planted seedlings in a degraded area in the coastal plain of the north coast of São Paulo. Foliar and soil temperatures were measured to assess the potential of nucleation to minimize extreme microclimates. The seedlings were planted in plots, each with a combination of type of planting in nucleus or line, and type of fertilizer applied, chemical fertilizer (NPK), topsoil or without fertilizer. The nuclei were composed of 13 seedlings of different species, 5 pioneers and 8 non-pioneer pioneers. The seedlings were separated from each other by distances of approximately 30 cm. Seedlings planted in lines were isolated from each other by 2 m. Seedlings planted in the nucleation system showed higher F_v/F_m and chlorophyll a, b and total contents, indicating predominance of facilitation between species. Foliar and soil temperatures were lower in nuclei. Both pioneers and non-pioneers showed signals of photoinhibition, with values of F_v/F_m below of that considered as stress-free when were planted in both, lines or nuclei. Photoinhibition signals were higher for the group of non-pioneer with lower F_v/F_m values. Considering the predominance of positive

interactions between species in nuclei and also the nuclei benefited both pioneer as non-pioneer. The present study provides evidence adds more information to the effects of nucleation and provides further support to the recommendation of this technique in ecological restoration.

Introdução

A nucleação é um processo natural no qual as plantas pioneiras colonizam uma área e facilitam a chegada e colonização de outras espécies, estabelecendo manchas, ou núcleos, que se expandem com o estabelecimento de novas plantas devido à facilitação gerada pelo crescimento das plantas no núcleo (Yarranton & Morrison, 1974). Baseado nesse conceito, o plantio de mudas em núcleos (mudas adensadas) tem sido proposto (Reis *et al.*, 2003; Holl *et al.*, 2011; Corbin & Holl., 2012) como uma técnica para facilitar o processo de restauração florestal, por possuir um custo mais baixo do que o plantio de mudas isoladas por toda a área (Rodrigues *et al.*, 2009; Holl *et al.*, 2011), e simular o processo de nucleação natural (Yarranton & Morrison, 1974), que ocorre durante a sucessão ecológica, em ambientes perturbados. Espera-se que o crescimento de mudas de uma ou mais espécies propicie melhores condições ambientais no interior do núcleo, aumentando a probabilidade de recrutamento e estabelecimento de outras espécies (Holl *et al.*, 2011, Corbin & Holl, 2012).

O potencial dos núcleos em propiciar um maior estabelecimento de plantas pode ser explicado por mecanismos de facilitação que dependem do crescimento de algumas mudas que passam a formar uma cobertura de dossel. Dois mecanismos são decorrentes do sombreamento fornecido pela cobertura, que propicia melhores condições para as mudas ao amenizar microclimas extremos e ao diminuir a competição com gramíneas forrageiras intolerantes à sombra (Zahawi & Augspurger 2006; Corbin & Holl, 2012). Um terceiro mecanismo de facilitação é dado pelo efeito de poleiro dos núcleos ao aumentar o recrutamento de novas espécies pelo aumento da chuva de sementes (Reis *et al.* 2003; Zahawi *et al.*, 2012). Estudos recentes de comparações entre plantios em núcleos e isolados demonstram que núcleos propiciam maior heterogeneidade de habitat (Holl *et al.*, 2013) e maior recrutamento de plântulas (Zahawi *et al.*, 2012). Entretanto, os possíveis efeitos dos núcleos sobre o desempenho das mudas, em função de melhores

condições ambientais, não estão plenamente estabelecidos (Zamith 2007; Holl *et al.*, 2011).

A melhoria das condições para as mudas, dada pelo sombreamento, pode ser considerada uma diminuição das condições de estresse aos quais as plantas estão submetidas. De acordo com Luttge (1997) qualquer fator ambiental, biótico ou abiótico, pode ser um fator de estresse para plantas se a sua dosagem for muito alta ou muito baixa. Nesse sentido, as condições enfrentadas pelas plantas em ambientes degradados, como exposição a níveis elevados de radiação solar, altas temperaturas e déficit de nutrientes (Gonçalves & Santos Jr, 2005; Ferreira *et al.*, 2009), podem ser considerados fatores de estresse para a maioria das plantas arbóreas tropicais (Larcher, 1995). Por outro lado, algumas espécies podem ser melhor sucedidas nesses ambientes e poderiam ser utilizadas para iniciar o processo de restauração (Gonçalves & Santos Jr, 2005). Entretanto, a falta de conhecimento sobre as características ecológicas e ecofisiológicas das espécies utilizadas tem limitado o sucesso de alguns projetos restauração (Norisada & Kojima, 2005, Gebrekirtsos *et al.*, 2006; Santos Jr. *et al.*, 2006).

As espécies utilizadas para a restauração geralmente são divididas em dois grupos funcionais principais, pioneiras e não pioneiras (Swaine & Whitmore, 1988), que apresentam diferentes respostas morfológicas, ecológicas e fisiológicas de acordo com o estágio de sucessão aos quais pertencem. As espécies pioneiras, em geral, apresentam características como altas taxas de crescimento e de troca de folhas, além de taxas fotossintéticas, taxas respiratórias e fotorrespiração maiores quando comparadas com não pioneiras. Associada a essas características, as espécies pioneiras apresentam mais vias de dissipação de energia (Luttge, 1997; Krause *et al.*, 2001; Nogueira *et al.*, 2004; Silvestrini *et al.*, 2007). Portanto, essas espécies podem apresentar maior necessidade de nutrientes comparativamente às não pioneiras, dadas às altas taxas (Veenendaal *et al.*, 1996), e apresentar maior tolerância a altos níveis de radiação solar (Krause *et al.*, 2001; Nogueira *et al.*, 2004; Silvestrini *et al.*, 2007) . As espécies não pioneiras são tolerantes ao sombreamento e conseqüentemente devem ser

mais eficientes no uso ou captura de luz onde a luz é escassa. Essas espécies geralmente apresentam características que lhes conferem essa capacidade, como maior teor de pigmentos foliares, e menor proporção de clorofila *a* por clorofila *b*, possibilitando-as explorar um espectro mais amplo de luz (Henry & Aarssen, 1997; Silvestrini *et al.*, 2007). Tais características explicam a tendência de espécies não pioneiras serem melhores competidoras do que as espécies pioneiras, sob baixa radiação (Bazzaz, 1979). Entretanto, por serem mais eficientes na absorção de energia luminosa e menos eficientes nas vias de dissipação energética, espécies não pioneiras tendem a ser mais vulneráveis à fotoinibição por alta radiação (Lovelock *et al.*, 1994; Castro *et al.*, 1995; Larcher, 1995; Luttge, 1997; Silvestrini *et al.*, 2007).

Com a progressão da sucessão ocorrem mudanças na composição de espécies, com a diminuição de espécies pioneiras e aumento de espécies não pioneiras, e associadas a essas mudanças são observadas variações na disponibilidade de nutrientes nos ecossistemas (Parrotta *et al.*, 1997; Mesquita *et al.*, 2001; Pinto & Marques, 2003). Entretanto, poucos trabalhos avaliam os efeitos da disponibilidade de nutrientes sobre espécies dos diferentes grupos sucessionais. As espécies pioneiras demonstram ser mais responsivas à disponibilidade de nutrientes no solo (Fetcher *et al.*, 1996; Veenendaal *et al.*, 1996). O trabalho de Siddique *et al.* (2010) demonstra que a adição de nutrientes favorece plantas pioneiras em áreas em estágio de sucessão secundária, pois além de se manterem por mais tempo na comunidade, passam a dominar a área. Por outro lado, espécies não pioneiras apresentam maior alocação de biomassa para as raízes em solos pobres (Gleeson & Tilman, 1990; Bush, 2008), que pode lhes conferir maior habilidade em captar recursos disponíveis no solo (Berendse *et al.*, 2007) representando um indício de que são superiores às pioneiras na competição por nutrientes (Gleeson & Tilman, 1990). Estudos com gramíneas demonstram que espécies pioneiras possuem uma habilidade competitiva por nitrogênio inferior às mais tardias, sendo excluídas dos experimentos sob condição de pouco nitrogênio no solo (Tilman & Wedin, 1991; Wedin &

Tilman, 1993). Entretanto, o tratamento com a adição de nutrientes favorece as gramíneas pioneiras na competição (Wedin & Tilman, 1993).

O que se espera de um plantio em núcleo misto de pioneiras e não pioneiras é um crescimento inicial mais rápido das pioneiras fornecendo melhores condições para as não-pioneiras, por meio da facilitação. Entretanto, ainda existem poucos trabalhos comparando o plantio de mudas em núcleos com outras técnicas de restauração (Zahawi & Augspurger 2006; Zamith, 2007; Holl *et al.*, 2011; Zahawi *et al.*, 2012; Holl *et al.*, 2013). Ainda são necessários estudos para avaliar, por exemplo, se os núcleos, ao invés de aumentar a facilitação, aumentam a competição. O maior adensamento de mudas força uma maior interação entre elas, o que poderia levar a piores condições para as plantas ao invés de melhores. Portanto, a própria efetividade da facilitação em núcleos pode ser contestada. Em qualquer sistema, mecanismos de facilitação e competição não atuam isoladamente uns dos outros, mas devem agir em conjunto dentro de uma comunidade produzindo efeitos líquidos complexos e variáveis (Callaway & Walker, 1997). Entretanto, é esperado que em condições ambientais estressantes, a facilitação seja mais importante (Bertness & Callaway, 1994).

A fim de entender as respostas das plantas às condições às quais elas estão submetidas, a medida de respostas fotossintéticas tem sido considerada bastante efetiva entre as técnicas para monitorar respostas das plantas às condições de estresse ambiental (Baker, 1993; Norisada & Kojima, 2005; Baker, 2008). A fluorescência da clorofila permite verificar a atividade de transporte de elétrons da fotossíntese na folha, fornecendo uma análise da inibição da fotossíntese induzida pelo estresse (Meyer & Genty, 1999). A eficiência fotossintética máxima, dada pela fluorescência da clorofila *a*, é um parâmetro utilizado como indicador do estado fisiológico de plantas frente a condições de estresse ambiental ocasionado por diferentes fatores como temperatura, radiação, condição hídrica, salinidade, predação por insetos, estado nutricional e agentes químicos (Belkhodja *et al.*, 1994; Mazza *et al.*, 2000; Mendelssohn *et al.*, 2001; Catunda *et al.*, 2005; Rennenberg *et al.*, 2006; Zanandrea *et al.*, 2006; Gonçalves *et al.*, 2009; Bussotti *et al.*,

2011). A diminuição da eficiência fotossintética máxima é considerada um excelente indicador de efeito fotoinibitório quando as plantas estão submetidas a diferentes tipos de estresse e pode representar tanto uma regulação protetora reversível ou uma inativação irreversível do fotossistema II (PSII) (Björkman & Powles, 1984, Araújo & Demicinis, 2009). Em suma, medidas relacionadas à fluorescência da clorofila permitem acessar a eficiência no uso da luz (Baker, 1993), por plantas afetadas por distintas condições de estresse.

Um dos fatores mais importantes associados à eficiência fotossintética é o teor de clorofilas e carotenóides (Porra *et al.*, 1989). Uma alta concentração de clorofila permite que a planta apresente taxas fotossintéticas mais altas (Porra *et al.*, 1989). Os pigmentos fotossintéticos, sobretudo as clorofilas, são degradados ou têm suas sínteses reduzidas sob diversas condições de estresse abiótico (Hendry, 1987; Hendry & Price, 1993; Ashraf & Harris, 2013) como estresse luminoso (Krause *et al.*, 2001, Silvestrini *et al.*, 2007; Favaretto *et al.*, 2011), térmico (Efeoglu & Terzioglu, 2009), falta de nutrientes (Huang *et al.*, 2004; Bojovic & Stojanovic, 2005), seca (Liu *et al.*, 2011), e por alagamento (Mielke & Schaffer, 2010). O déficit de nitrogênio, por exemplo, afeta várias respostas fotossintéticas, e provoca uma redução significativa no teor de clorofila total (Ciompi *et al.*, 1996).

Alguns trabalhos utilizando fluorescência da clorofila e outros parâmetros relacionados à fotossíntese contribuem para a ecologia da restauração fornecendo informações sobre respostas de espécies pioneiras e não pioneiras sob diferentes níveis de radiação conduzidos em condições controladas em casa de vegetação (Lovelock *et al.*, 1994; Castro *et al.*, 1995; Krause *et al.*, 2001; Ribeiro *et al.*, 2005; Silvestrini *et al.*, 2007; Favaretto *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2012) e em campo (Lovelock *et al.*, 1994; Poorter *et al.*, 2000; Santos Jr. *et al.*, 2006), sobre efeitos das interações ecológicas (Yang *et al.*, 2009; Schob *et al.*, 2014; Pollastrine *et al.*, 2014), e sobre efeitos de diferentes tipos de adubação (Ferreira *et al.*, 2009). Técnicas de fluorescência de clorofila também têm sido propostas para aplicação direta em ecologia da restauração para a seleção das mudas de espécies a serem

utilizadas (Gonçalves & Santos Junior, 2005), entretanto, ainda existem poucos trabalhos que utilizam esses métodos para avaliar em campo o sucesso de técnicas de restauração (Ceacero *et al.*, 2012). Os efeitos da nucleação aplicada sobre o desempenho das mudas ainda foram muito pouco testados (Holl *et al.*, 2011) e as possíveis alterações desses efeitos com a adição de nutrientes ainda não foram investigadas. Dessa forma, o objetivo principal do presente estudo é investigar os efeitos da nucleação e da adição de nutrientes em espécies pioneiras e não pioneiras através de respostas fisiológicas das mudas em uma área de restauração ecológica.

Considerando que espécies não pioneiras são mais sensíveis ao estresse luminoso, que espécies pioneiras são mais sensíveis à limitação por nutrientes, e que o solo da área em restauração apresenta déficit de nutrientes, o presente estudo apresenta duas hipóteses. A primeira hipótese é que o adensamento de mudas em núcleos deve propiciar melhores condições ambientais para espécies não pioneiras. Dessa forma, espécies não pioneiras devem apresentar maior eficiência fotossintética e maior teor de pigmentos fotossintéticos. A segunda hipótese é que a adição de nutrientes deve minimizar os efeitos da competição em núcleos, melhorando as condições para as espécies, principalmente as pioneiras, que são mais sensíveis à limitação por nutrientes. Nesse sentido, a combinação de tratamentos que propiciaria as piores condições para o grupo das não pioneiras seria a de plantio de mudas isolado em linhas sem a adição de nutrientes. Para o grupo das pioneiras as piores condições seriam observadas na combinação do plantio em núcleos sem adição de nutrientes.

Objetivos

Investigar os efeitos do plantio agregado de mudas em núcleos e da adição de nutrientes nas respostas fisiológicas de espécies pioneiras e não pioneiras em uma planície costeira do litoral norte de São Paulo.

Materiais e Métodos

1. Área de estudo

O presente estudo foi realizado em uma área em restauração na Unidade de Tratamento de Gás Monteiro Lobato (UTGCA), no município de Caraguatatuba (SP). A área possui cerca de 6,5 hectares e está localizada nas coordenadas 23°39'32.30"S e 45°30'35.29"O, em uma faixa de 50m a partir da margem esquerda do Rio Camburu, tendo cerca de 1300m de extensão. A área está inserida no domínio de vegetação da Mata Atlântica, caracterizada pelo clima tropical chuvoso, sem estação seca e com a precipitação média do mês mais seco superior a 60mm e temperatura média anual de 25°C. A área localiza-se na planície costeira, representada por um mosaico de formações vegetais, apresentando desde Sistemas Edáficos de Primeira Ocupação com Influência Marinha (restingas) até Florestas Ombrófilas Densas de Terras Baixas, segundo a classificação oficial brasileira (IBGE 1992). Entretanto, na resolução Conama 417/2009 foi apresentado um maior detalhamento da vegetação da planície costeira. De acordo com essa resolução a área de estudo antes de ser degradada, provavelmente correspondia a uma floresta de Transição de Restinga – Floresta Ombrófila Densa. O solo da área apresenta uma camada superficial de solo argiloso depositada sobre a planície arenosa, devido a recorrentes eventos de deslizamento de terra da encosta Serra do Mar, similares ao mais recente que ocorreu no município de Caraguatatuba no ano de 1967 (Ferreira, 2013), o qual encobriu grande parte da planície costeira com sedimento de origem continental.

2. Desenho Experimental

Considerando que o presente estudo foi realizado com um subconjunto de plantas estabelecidas em um projeto de restauração já em andamento, será apresentado inicialmente o esquema geral do projeto de

restauração e posteriormente será explicado o conjunto de dados utilizado no presente estudo.

Entre fevereiro e julho de 2012 foram plantadas em toda a área 15693 mudas de 54 espécies arbóreas, produzidas a partir de matrizes localizadas em ecossistemas da planície costeira do litoral de São Paulo. A área total de cerca 6,5 hectares foi subdividida em 9 blocos. Cada bloco possui 6 parcelas contíguas (de aproximadamente 20m x 50m) correspondentes às combinações de tratamentos explicadas abaixo. Entre os blocos foi instalada uma parcela controle, na qual nada foi plantado. Os tratamentos aplicados nas parcelas são compostos pela combinação dos tratamentos de adição de nutrientes e de sistema de plantio.

Os três níveis de adição de nutrientes foram:

- TV – Adição de 2 kg de Terra Vegetal em cada cova uma única vez no início do plantio
- NPK – Adição de 100g de adubo químico (NPK 06:30:06) em cada cova no início do plantio. Posteriormente, as mudas receberam 100g de NPK 20-0-20 por cova, divididos em 3 dosagens, a cada 30 dias por 3 meses, sendo reaplicado da mesma forma no segundo ano.
- ND – Sem adição de nutrientes.

Os dois níveis dentro dos sistemas de plantio foram:

- LI – Plantios em linhas isoladas, com espaçamento de 2 x 2 m, sendo 10 linhas com aproximadamente 25 plantas em cada linha. Quatro linhas foram plantadas exclusivamente com espécies pioneiras (P), alternando-se as espécies ao longo das linhas. Seis linhas foram plantadas com espécies não pioneiras (NP) alternadas ao longo das linhas. As linhas de pioneiras e não pioneiras foram dispostas de forma intercalada. Cada bloco (20 x 50m) de plantio em linha possui aproximadamente 250 mudas plantadas, de no mínimo, 20 espécies diferentes.

Figura 1: *Myrsine coriacea* plantada em linha, 2 anos após o início do plantio.

- NU – Plantios em Núcleos: foram estabelecidos agrupamentos de 13 mudas, sendo 5 mudas de espécies pioneiras (P) e 8 mudas de espécies não-pioneiras (NP). No centro e nos quatro cantos de cada núcleo foram plantadas as mudas das espécies pioneiras (P). Em posições opostas e a distâncias equivalentes e cruzadas foram plantadas as 8 mudas das espécies não pioneiras (NP) conforme esquema abaixo (Figura 2). As mudas foram separadas entre si por distâncias de aproximadamente 30 cm. A distribuição dos núcleos foi realizada com espaçamento homogêneo. O espaçamento entre os núcleos foi de 5 m, a partir do centro do núcleo. O número de núcleos plantados por parcela variou de 19 a 35.

Figura 2: Esquema de distribuição espacial de mudas nos núcleos, em função do estágio sucessional da espécie, sendo Pioneiras (P) e não pioneiras (NP).

Figura 3: Exemplo de núcleo 2 anos após o início do plantio.

A partir dos 3 níveis de adição de nutrientes e dos 2 sistemas de plantio, foram estabelecidas 6 combinações de tratamentos:

I - Plantio em Linhas com adição de Terra Vegetal (LI - TV)

II - Plantio em Linhas com adição de Adubo Químico (LI - NPK)

III - Plantio em Linhas sem adição de nutrientes (LI - ND)

IV - Plantio em Núcleos com adição de Terra vegetal (NU - TV)

V - Plantio em Núcleos com adição de Adubo Químico (NU - NPK)

VI - Plantio em Núcleos sem adição de nutrientes (NU - ND)

Cada combinação de tratamento foi instalada em uma parcela e foi replicada nos blocos. Dessa forma, foram obtidas 9 réplicas para cada combinação de tratamento.

Na parcelas cujo sistema de plantio foi núcleo, foram implantados 14 tipos de núcleos (chamados A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N). Cada tipo de núcleo possui uma composição diferente de espécies. A lista completa de espécies pioneiras e não pioneiras utilizadas no plantio encontra-se no Apêndice (Tabela A1).

Especificamente no presente estudo foram utilizados os blocos de 2 a 9, em função das parcelas do bloco 1 terem sido plantadas em um período muito anterior aos demais. Dessa forma, foram amostradas 48 parcelas em 8 blocos, cada bloco contendo as 6 combinações de tratamentos (parcelas). Além disso, os dados do presente estudo, referentes ao plantio em núcleo, foram coletados apenas em mudas presentes nos núcleos tipo A e tipo B, que apresentam maior similaridade de espécies e as espécies encontram-se dispostas nas mesma posição nos dois núcleos. O núcleo A foi implantado em todas as parcelas de núcleo, com 9 repetições por parcela. O núcleo B também foi implantado em todas as parcelas de núcleo, com mínimo de 6 repetições por parcela. Em setembro de 2013, um ano e sete meses do início do plantio, nos núcleos, o grupo das espécies pioneiras apresentou uma

média de altura 1,67m ($\pm 0,94$) enquanto o grupo das não pioneiras 0,56m ($\pm 0,45$).

Dentre as espécies presentes nos núcleos A e B, foram selecionadas 3 espécies pioneiras (*Myrsine coriacea*, *Solanum cinnamomeum*, *Citharexylum myrianthum*) e 3 espécies não pioneiras (*Eugenia astrigens*, *Ocotea puchella* e *Calophyllum brasiliense*). Os critérios de seleção envolveram a presença de folhas simples, lisas e de tamanho médio; a ausência de acúmulo excessivo de nitrogênio foliar, como observado frequentemente nas famílias Nyctaginaceae e Leguminosae (Delitti *et al.*, 2000); a ausência de associações simbióticas com bactérias fixadoras de nitrogênio, e; a ausência de potencial alelopático estabelecido na literatura.

3. Procedimentos de campo

3.1. Eficiência fotossintética máxima

A determinação da eficiência fotossintética máxima ou eficiência quântica máxima do fotossistema II (PSII), a partir da fluorescência da clorofila a, foi realizada com utilização do fluorômetro OS5p (Opti-Sciences, Estados Unidos), em cinco períodos de coleta: junho, agosto, setembro e dezembro de 2013 e janeiro de 2014. As medidas foram tomadas em folhas completamente expandidas, em bom estado fitossanitário e iluminadas por luz solar, entre 8:00 e 11:00 horas. Foi medida apenas uma folha por muda, visando maximizar o número de indivíduos amostrados em relação ao esforço amostral. As folhas selecionadas foram submetidas a um período de aclimação de 30 minutos no escuro, considerado suficiente para a completa oxidação dos centros de reação, com o auxílio de um *dark-leafclip* da Opti-Sciences. Decorrido o período de aclimação, as folhas foram submetidas a um pulso de luz saturante ($>6000 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) para a medição do rendimento quântico máximo do fotossistema II (ou eficiência fotossintética máxima), dado pela razão F_v/F_m , sendo F_m a fluorescência máxima e F_v a fluorescência variável, dada por $F_m - F_o$, onde F_o é a inicial. F_o representa a fração da energia absorvida pelo complexo-antena que não

é absorvida pelos pigmentos fotossintéticos e não é transmitida para a cadeia de transporte de elétrons (Rascher *et al.*, 2000).

A eficiência fotossintética máxima (Fv/Fm) foi medida em 1116 mudas no total, sendo 502 mudas do grupo das espécies pioneiras e 614 do grupo das não pioneiras (Apêndice - Tabela A2). A diferença no número total de mudas entre os grupos se deve à baixa disponibilidade de *Solanum cinnamomeum* nos plantios em núcleo e de *Myrsine coriacea* nos plantios em linha (Tabela A2). Além disso, *Citharexylum myrianthum* e *S. cinnamomeum* não foram contemplados nas coletas 2 e 4 (Tabela 1), respectivamente, por estarem trocando de folhas.

3.2. Pigmentos fotossintéticos

As coletas de amostras para a determinação dos pigmentos fotossintéticos foram realizadas simultaneamente às amostragens de eficiência fotossintética máxima. De 3 a 5 folhas completamente expandidas, saudáveis e expostas à luz solar foram coletadas e acondicionadas em sacos com água e mantidos no escuro, sendo levadas ao laboratório. Três folhas foram selecionadas, das quais foram retirados dois discos de 0,28 cm² de área, para determinação do teor de pigmentos fotossintéticos. Foi utilizado o método de extração com o solvente orgânico DMSO (dimetilsulfóxido) (Wellburn, 1994).

Os discos foliares foram colocados em tubos tipo "eppendorf", imersos em 1,5 ml de DMSO e mantidos no escuro por 1 semana. Decorrido esse tempo, foram realizadas as leituras em espectrofotômetro. Para a determinação dos teores de clorofila *a* e clorofila *b* foram realizadas leituras de absorbância (A) a 665 nm e 649 nm e para os teores de carotenóides, a 480 nm. Os teores de pigmentos fotossintéticos foram calculados a partir das equações descritas por Wellburn (1994)

$$[\text{Clorofila } a] (\mu\text{g/mL}) = 12,19 \times A_{665} - 3,45 \times A_{649}$$

$$[\text{Clorofila } b] (\mu\text{g/mL}) = 21,99 \times A_{649} - 5,32 \times A_{665}$$

$$[\text{Carotenóides}] (\mu\text{g/mL}) = (1000 \times A_{480} - 2,14 \times \text{Clorofila } a - 70,16 \times \text{Clorofila } b)/220$$

Onde A_x representa a leitura de absorbância a um determinado comprimento de onda.

A partir dos teores dos pigmentos foram calculados os teores de clorofila *a* por área de folha, de clorofila *b* por área de folha, de carotenóides por área de folha, de clorofila total ($a + b$) por área de folha, a razão de clorofila a/b , e a razão entre a concentração de clorofila total e a de carotenóides.

Os teores de pigmentos fotossintéticos foram amostrados em 641 mudas, sendo 297 do grupo das espécies pioneiras e 344 do grupo das espécies não pioneiras (Tabela A4). Um baixo número de indivíduos de *S. cinnamomeum* foi amostrado em função de uma baixa disponibilidade dessas mudas especialmente em núcleos nas três últimas coletas, devido à mortalidade das mudas. Além disso, os indivíduos dessa espécie estavam sem folhas na quarta coleta no mês de dezembro (Tabela 1).

3.3. Temperatura da superfície foliar e do solo

Com o propósito de fornecer maiores informações sobre os efeitos dos núcleos nas folhas das mudas de diferentes grupos funcionais e consequentemente para a interpretação dos resultados obtidos para os parâmetros ecofisiológicos, simultaneamente à coleta dados de eficiência fotossintética máxima foram medidas as temperaturas das superfícies foliares das mesmas folhas amostradas. Para a coleta foi utilizado um termômetro infravermelho UT303C (Contemp, Brasil) aproximando o máximo possível o termômetro das superfícies das folhas.

A fim de elucidar possíveis efeitos dos núcleos em minimizar microclimas extremos e fornecer informações complementares para a interpretação dos resultados dos parâmetros fisiológicos também foram tomadas medidas temperaturas da superfície do solo dentro e fora dos

núcleos e abaixo de algumas mudas em linha e na região entre linhas, utilizando o mesmo termômetro, aproximando o máximo possível o termômetro da superfície do solo. Para caracterizar a temperatura do solo entre os tipos de plantio, foram realizadas 520 medidas de temperatura da superfície do solo, sendo 131 pontos localizados no interior dos núcleos sob a planta central (SOB-NU), pareados com 131 pontos localizados em área aberta entre os núcleos (EN- NU), e 129 pontos logo abaixo das plantas em linhas (SOB-LI), pareadas com 129 pontos em área aberta entre as linhas (EN-LI). Cada par de medidas foi tomado uma vez em cada parcela amostrada a partir da terceira coleta.

4. Períodos de coleta

As coletas ocorreram de junho de 2013 até janeiro de 2014, começando após um ano e 4 meses do início do plantio. Considerando a grande variação climática anual durante as estações do ano e que as respostas fisiológicas podem ser afetadas, não apenas por fatores climáticos momentâneos, como também por fatores de períodos anteriores, foi feita uma caracterização climática dos períodos que poderiam estar afetando cada coleta (Tabela 1), levando em conta pelo menos dois meses prévios a cada coleta. Os dados climáticos foram obtidos da estação meteorológica localizada na fazenda Serra Mar em Caraguatatuba, próxima à área de restauração do estudo.

Tabela 1. Dados climáticos da área de estudo no período de coleta de dados fisiológicos.

	Meses									
	abr/13	mai/13	jun/13	jul/13	ago/13	set/13	out/13	nov/13	dez/13	jan/14
Coleta			x		x	x			x	x
Temperatura Máxima (°C)	29,60	35,30	31,90	30,90	33,90	35,20	31,00	38,80	39,00	39,90
Temperatura Mínima (°C)	16,30	14,10	14,90	11,90	4,80	11,80	15,40	17,60	19,10	20,60
Temperatura Média (°C)	22,96	21,99	21,45	19,34	19,77	21,14	22,25	23,39	25,20	27,52
Precipitação Total (mm)	211,40	172,00	225,00	94,00	31,10	94,20	153,40	119,60	164,40	181,70
Radiação Solar Máxima (W/m²)	848,68	702,16	751,22	656,06	794,93	924,60	969,74	1045,00	1066,40	1066,10
Radiação Solar Média (W/m²)	149,98	125,52	98,07	107,18	141,61	151,79	145,29	187,20	212,13	274,47
Umidade Relativa Média (%)	78,97	77,32	82,02	79,89	76,58	79,78	81,52	81,20	79,04	73,51

5. Análise de dados

Foram construídos modelos lineares de efeitos mistos (MLEM) para testar os efeitos de três fatores fixos, sendo um deles o tipo de plantio, com os níveis linha (LI) e núcleo (NU), outro o tipo de adubo aplicado, com os níveis adubo químico composto de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK), terra vegetal (TV) e sem adição de nutriente (ND), e ainda outro referente ao grupo funcional, com dois níveis, pioneiras (P) e não pioneiras (NP), sobre as variáveis resposta analisadas. A única exceção foi a variável resposta temperatura da superfície do solo, para qual não foi considerado o fator tipo de adubo aplicado e foi incluído o fator local da tomada de medida, com os níveis SOB, que representa a tomada de medida sob o núcleo ou sob a planta medida em linha, e EN que representa a tomada de medida em uma área aberta localizada entre os núcleos ou entre as linhas.

Modelos mistos aplicados a dados agrupados por um ou mais fatores, ou a dados que apresentam estruturas hierárquicas, permitem a introdução de efeitos aleatórios que possibilitam a análise dos efeitos associados a unidades experimentais ou amostrais (p.ex. indivíduos, espécies, parcelas, blocos) selecionadas aleatoriamente (Zuur *et al.*, 2009). Portanto, a utilização da análise de modelos mistos permite descontar erros associados aos efeitos de variáveis aleatórias, dos efeitos das variáveis de interesse. Em todos os modelos, os meses de coleta, os blocos e as diferentes espécies dentro dos grupos foram incluídos como variáveis aleatórias. Todos os modelos foram construídos no programa R 3.1.0 (R Development Core Team 2014) com o pacote *lme4* (Bates *et al.* 2014) .

O protocolo utilizado para a seleção de modelos foi o de Zuur *et al.* (2009). Primeiramente foi selecionada a parte aleatória do modelo, a partir de modelos em que é mantida a parte fixa com a estrutura saturada, ou seja, com todos os fatores fixos e todas as interações entre eles que fazem sentido biológico. A partir disso são construídos modelos que vão sequencialmente desconstruindo a parte aleatória a partir do modelo mais saturado que tenha sentido biológico, por meio da remoção de interações ou fatores, até chegar ao modelo marginal, sem efeitos aleatórios. A seleção de modelos foi realizada com base no critério de informação de Akaike (AIC), uma medida de parcimônia calculada a partir do log da máxima verossimilhança e do número de variáveis explicativas, que leva em conta o ajuste do modelo e os graus de liberdade. Para a comparação entre modelos primeiramente calcula-se o AIC de cada modelo. O modelo de menor AIC é tomado como base para o cálculo do ΔAIC de cada modelo. O ΔAIC de cada modelo é a diferença entre os valores de AIC associados a cada modelo com o valor do AIC do modelo de menor AIC (Burnham & Anderson, 2002). Portanto o modelo com o menor AIC possui ΔAIC igual à zero, sendo esse o modelo selecionado para a parte aleatória do modelo. Modelos com ΔAIC menores ou iguais a 2 são considerados igualmente plausíveis (Burnham & Anderson, 2002).

A segunda parte consiste em selecionar os fatores importantes para a parte fixa do modelo, a partir da seleção de modelos desconstruindo a

estrutura saturada fixa eliminando progressivamente as interações entre os fatores fixos e posteriormente os próprios fatores fixos até chegar ao modelo nulo que só possui efeitos aleatórios, que foram selecionados na primeira parte, descrita acima. Os melhores modelos foram selecionados utilizando o ΔAIC . Foram selecionados os modelos com ΔAIC menor ou igual a 2. A seleção de modelos foi realizada no programa R 3.1.0 (R Development Core Team 2014) com o pacote *bbmle* (Bolker, 2014).

O parâmetro a ser apresentado nos resultados é o coeficiente de regressão estimado, que indica os efeitos dos níveis dos fatores para as variáveis resposta analisadas. No presente estudo os coeficientes de regressão estimados para cada nível nos modelos não representam inclinações de reta, como em regressões lineares múltiplas, uma vez que todos os fatores analisados são variáveis categóricas. Dessa forma, para uma maior compreensão do que representa esse parâmetro e facilitar a leitura do texto, daqui em diante, o coeficiente de regressão estimado será chamado de efeito estimado.

Resultados

1. Eficiência fotossintética máxima

Efeitos do grupo funcional e do tipo de plantio sobre os valores de A eficiência fotossintética máxima (F_v/F_m) foram indicados em todos os modelos selecionados ($\Delta AIC < 2,0$) (Tabela 2, Tabela A3). O grupo das espécies pioneiras apresentou maior F_v/F_m que o grupo das espécies não pioneiras e o plantio em núcleos apresentou maior F_v/F_m em relação ao plantio em linhas (Tabela 2, Figura 4). A interação entre plantio em núcleo e grupo das pioneiras apresentou efeito negativo, mas de menor magnitude que o do plantio em núcleos por si só, o que indicaria um menor efeito do núcleo para o grupo das pioneiras. Porém, essa interação e o efeito do tipo de adubo aplicado não foram observados em todos os modelos selecionados (Tabela 2, Tabela A3), sendo, portanto considerados como incertezas.

Tabela 2. Modelos selecionados para a eficiência fotossintética máxima (Fv/Fm) e efeitos estimados dos níveis dos fatores fixos. E.P. = erro padrão dos efeitos estimados e I.C. = intervalo de confiança. Em negrito, os efeitos cujo intervalo de confiança não incluem o zero.

Modelos selecionados (termos fixos)				
$\Delta AIC = 0,0$ - Modelo 10 - Grupo + Plantio + Grupo:Plantio			I.C. 95%	
Efeitos fixos	Estimado	E. P.	2,5%	97,5%
Não Pioneira; ND; Linha(intercepto)	0,674	0,012	0,651	0,697
Pioneira	0,030	0,013	0,005	0,055
Núcleo	0,017	0,007	0,003	0,030
Pioneira:Núcleo	-0,011	0,007	-0,024	0,002
$\Delta AIC = 0,1$ - Modelo 6 - Grupo + Adubo + Plantio + Grupo:Plantio			I.C. 95%	
Efeitos fixos	Estimado	E. P.	2,5%	97,5%
Não Pioneira; ND; Linha(intercepto)	0,671	0,012	0,648	0,695
Pioneira	0,030	0,013	0,005	0,055
NPK	0,007	0,004	-0,001	0,015
TV	0,001	0,004	-0,007	0,009
Núcleo	0,017	0,007	0,003	0,030
Pioneira:Núcleo	-0,011	0,007	-0,024	0,002
$\Delta AIC = 0,9$ - Modelo 13 - Grupo + Plantio			I.C. 95%	
Efeitos fixos	Estimado	E. P.	0,025	0,975
Não Pioneira; ND; Linha (intercepto)	0,676	0,012	0,654	0,699
Pioneira	0,024	0,012	0,000	0,049
Núcleo	0,012	0,006	0,000	0,024
$\Delta AIC = 1,1$ - Modelo 8 - Grupo + Adubo + Plantio			I.C. 95%	
Efeitos fixos	Estimado	E. P.	0,025	0,975
Não Pioneira; ND; Linha (intercepto)	0,674	0,012	0,650	0,697
Pioneira	0,024	0,012	0,000	0,049
NPK	0,007	0,004	-0,001	0,015
TV	0,001	0,004	-0,007	0,009
Núcleo	0,012	0,006	0,000	0,024

*Fatores aleatórios selecionados: Bloco + Espécies + Data de Coleta + Plantio:Data de Coleta.

**Todos os modelos comparados e os ΔAIC s respectivos estão na Tabela A3 do Apêndice.

Efeitos de bloco, de espécies, de data de coleta e de interação entre os efeitos do plantio em núcleo relacionados com a data da coleta, foram identificados na seleção dos fatores aleatórios e, portanto, foram descontados nas análises das variáveis fixas indicadas acima (Tabela 2). Daqui em diante, em todos os casos em que os fatores aleatórios tenham um efeito muito pequeno, os fatores aleatórios selecionados serão apenas indicados nas tabelas.

Figura 4. Eficiência fotossintética máxima do PSII (F_v/F_m) de espécies pioneiras (vermelho) e não pioneiras (preto). Os símbolos centrais representam as médias e as barras os erros padrão associados. Símbolos sólidos representam mudas nos plantios em núcleo e símbolos vazios mudas nos plantios em linhas. Tipo de plantio: LI = Linha e NU = Núcleo. Tipo de adubo: ND = sem adubo, NPK = adubo químico, TV = terra vegetal.

2. Pigmentos fotossintéticos

Foi observado um efeito do tipo de plantio sobre o teor de clorofila *a* (Tabela 3, Tabela A5), com um maior teor de clorofila *a* no plantio em núcleo do que no plantio em linha (Tabela 3, Figura 5). A diferença no teor de clorofila *a* entre espécies pioneiras e não pioneiras não foi conclusiva (Tabela 3, Tabela A5), uma vez que os efeitos foram muito variáveis e o intervalo de confiança para o efeito estimado de pioneiras estava centrado em zero (Tabela 3).

Tabela 3. Modelos selecionados para o teor de clorofila *a* ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) e efeitos estimados dos níveis dos fatores fixos. E.P. = erro padrão dos estimados e I.C. = intervalo de confiança. Em negrito, os efeitos cujo intervalo de confiança não incluem o zero.

Modelos selecionados (termos fixos)				
$\Delta\text{AIC} = 0,0$ - Modelo 17 - Plantio				
Efeitos fixos	Estimado	E. P.	I.C. 95%	
Não Pioneira; ND; Linha (intercepto)	20,737	0,800	19,172	22,303
Núcleo	0,686	0,269	0,159	1,214
$\Delta\text{AIC} = 2,0$ - Modelo 13 - Grupo + Plantio				
Efeitos fixos	Estimado	E. P.	I.C. 95%	
Não Pioneira; ND; Linha (intercepto)	20,707	0,914	18,916	22,498
Pioneira	0,058	0,815	-1,540	1,656
Núcleo	0,689	0,269	0,161	1,217

*Fatores aleatórios selecionados: Bloco + Espécies + Data de Coleta.

**Todos os modelos comparados e os ΔAICs respectivos estão na Tabela A5 do Apêndice.

Figura 5. Teor de clorofila *a* ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) de espécies pioneiras (vermelho) e não pioneiras (preto). Os símbolos centrais representam as médias e as barras os erros padrão associados. Símbolos sólidos representam mudas nos plantios em núcleo e símbolos vazios mudas nos plantios em linhas. Códigos dos tipos de plantio e adubação conforme legenda da Figura 4.

Para o teor de clorofila *b* os efeitos do tipo de plantio e do grupo funcional foram indicados em todos os modelos selecionados (Tabela 4, Tabela A6). As mudas plantadas em núcleos apresentam maior teor de clorofila *b* em relação às plantas em linhas, e o grupo das espécies pioneiras apresentam menor teor desse pigmento (Tabela 4, Figura 6). Entretanto, ainda existe um nível de incerteza sobre esses efeitos, uma vez que em alguns modelos, a depender da combinação de fatores selecionada, a variação nos valores é grande e o zero está incluído, indicando que tanto efeitos positivos como negativos podem ocorrer (Tabela 4).

Tabela 4. Modelos selecionados para o teor de clorofila *b* ($\mu\text{g}/\text{cm}$) e efeitos estimados dos níveis dos fatores fixos. E.P. = erro padrão dos estimados e I.C. = intervalo de confiança. Em negrito, os efeitos cujo intervalo de confiança não incluem o zero.

Modelos selecionados (termos fixos)				
$\Delta\text{AIC} = 0,0$ - Modelo 4 - Grupo + Adubo + Plantio + Grupo:Plantio + Adubo:Plantio				
Efeitos fixos	Estimado	E. P.	I.C. 95%	
			2,5%	97,5%
Não Pioneira; ND; Linha (intercepto)	14,825	0,582	13,684	15,967
Pioneira	-0,794	0,569	-1,909	0,321
NPK	-0,107	0,271	-0,639	0,424
TV	-0,188	0,263	-0,703	0,328
Núcleo	0,608	0,304	0,012	1,204
Pioneira:Núcleo	-0,594	0,307	-1,196	0,008
NPK:Núcleo	0,765	0,382	0,017	1,514
TV:Núcleo	0,152	0,374	-0,581	0,885
$\Delta\text{AIC} = 0,6$ - Modelo 6 - Grupo + Adubo + Plantio + Grupo:Plantio				
Efeitos fixos	Estimado	E. P.	I.C. 95%	
			2,5%	97,5%
Não Pioneira; ND; Linha (intercepto)	14,688	0,572	13,567	15,809
Pioneira	-0,806	0,567	-1,917	0,305
NPK	0,284	0,191	-0,091	0,658
TV	-0,123	0,187	-0,489	0,244
Núcleo	0,903	0,210	0,492	1,315
Pioneira:Núcleo	-0,578	0,308	-1,181	0,025
$\Delta\text{AIC} = 1,6$ - Modelo 10 - Grupo + Plantio + Grupo:Plantio				
Efeitos fixos	Estimado	E. P.	I.C. 95%	
			2,5%	97,5%
Não Pioneira; ND; Linha (intercepto)	14,728	0,567	13,616	15,840
Pioneira	-0,797	0,573	-1,919	0,326
Núcleo	0,912	0,210	0,500	1,324
Pioneira:Núcleo	-0,583	0,308	-1,187	0,022
$\Delta\text{AIC} = 1,8$ - Modelo 7 - Grupo + Adubo + Plantio + Adubo:Plantio				
Efeitos fixos	Estimado	E. P.	I.C. 95%	
			2,5%	97,5%
Não Pioneira; ND; Linha (intercepto)	14,965	0,578	13,831	16,099
Pioneira	-1,094	0,548	-2,168	-0,019
NPK	-0,094	0,272	-0,626	0,439
TV	-0,181	0,264	-0,698	0,335
Núcleo	0,341	0,272	-0,192	0,873
NPK:Núcleo	0,747	0,383	-0,003	1,497
TV:Núcleo	0,144	0,375	-0,591	0,878
$\Delta\text{AIC} = 1,9$ - Modelo1 - Grupo + Adubo + Plantio + Grupo:Adubo + Grupo:Plantio + Adubo:Plantio				
Efeitos fixos	Estimado	E. P.	I.C. 95%	
			2,5%	97,5%
Não Pioneira; ND; Linha (intercepto)	14,893	0,588	13,740	16,046
Pioneira	-0,940	0,606	-2,129	0,248
NPK	-0,084	0,330	-0,730	0,563
TV	-0,401	0,318	-1,024	0,221
Núcleo	0,608	0,304	0,011	1,204
Pioneira:NPK	-0,030	0,383	-0,780	0,721
Pioneira:TV	0,447	0,375	-0,289	1,182
Pioneira:Núcleo	-0,601	0,307	-1,203	0,002
NPK:Núcleo	0,757	0,382	0,008	1,507
TV:Núcleo	0,169	0,374	-0,565	0,902

*Fatores aleatórios selecionados: Bloco + Espécies + Grupo Funcional:Espécies.

**Todos os modelos comparados e os Δ AICs respectivos estão na Tabela A6 do Apêndice.

Os efeitos do tipo de adubo aplicado, das interações entre o grupo funcional e o tipo de plantio, entre o tipo de adubação e o tipo de plantio e

entre grupo funcional e tipo de adubação, indicados em alguns modelos selecionados, não são conclusivos, seja por não terem sido selecionados em todos os modelos, por apresentarem efeito pequeno, ou por apresentarem grande variação (Tabela 4, Tabela A6).

Figura 6. Teor de clorofila *b* (µg/cm²) de espécies pioneiras (vermelho) e não pioneiras (preto). Os símbolos centrais representam as médias e as barras os erros padrão associados. Símbolos sólidos representam mudas nos plantios em núcleo e símbolos vazios mudas nos plantios em linhas. Códigos dos tipos de plantio e adubação conforme legenda da Figura 4.

O efeito do tipo de plantio sobre o teor de clorofila total por área (clorofila *a* + *b*) foi indicado em todos os modelos selecionados (Tabela 5, Tabela A7). As mudas plantadas em núcleos apresentaram maior teor de clorofila total do que as mudas no plantio em linha (Tabela 5, Figura 7). Por outro lado, não foram conclusivos os efeitos do grupo funcional, pelo qual as pioneiras apresentariam menor teor de clorofila total e os efeitos da interação entre grupo funcional e o tipo de plantio, pelos quais, no plantio em núcleos haveria menor incremento no teor de clorofila total para as pioneiras que para as não pioneiras (Tabela 5).

Tabela 5. Modelos selecionados para o teor de clorofila total ($a+b$) ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) e efeitos estimados dos níveis dos fatores fixos. E.P. = erro padrão dos estimados e I.C. = intervalo de confiança. Em negrito, os efeitos cujo intervalo de confiança não incluem o zero.

Modelos selecionados (termos fixos)				
$\Delta\text{AIC} = 0,0$ - Modelo 17 - Plantio				
Efeitos fixos	Estimado	E. P.	I.C. 95%	
Não Pioneira; ND; Linha (intercepto)	35,042	0,964	33,153	36,930
Núcleo	1,328	0,400	0,545	2,111
$\Delta\text{AIC} = 0,7$ - Modelo 10 - Grupo + Plantio + Grupo:Plantio				
Efeitos fixos	Estimado	E. P.	I.C. 95%	
Não Pioneira; ND; Linha (intercepto)	35,290	1,169	32,998	37,581
Pioneira	-0,494	1,323	-3,087	2,099
Núcleo	1,879	0,543	0,815	2,943
Pioneira:Núcleo	-1,217	0,802	-2,787	0,354
$\Delta\text{AIC} = 1,1$ - Modelo 13 - Grupo + Plantio				
Efeitos fixos	Estimado	E. P.	I.C. 95%	
Não Pioneira; ND; Linha (intercepto)	35,584	1,159	33,313	37,855
Pioneira	-1,094	1,272	-3,587	1,398
Núcleo	1,321	0,400	0,538	2,105

*Fatores aleatórios selecionados: Bloco + Espécies + Data de Coleta.

**Todos os modelos comparados e os ΔAIC s respectivos estão na Tabela A7 do Apêndice.

Figura7. Teor de clorofila total($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) de espécies pioneiras (vermelho) e não pioneiras (preto). Os símbolos centrais representam as médias e as barras os erros padrão associados. Símbolos sólidos representam mudas nos plantios em núcleo e símbolos vazios mudas nos plantios em linhas. Códigos dos tipos de plantio e adubação conforme legenda da Figura 4.

Em relação à razão de clorofila a/b o grupo das pioneiras apresentou maior razão de clorofila a/b em relação ao grupo das não pioneiras (Tabela 6, Figura 8), sendo que apenas o efeito do grupo funcional foi observado em todos os modelos selecionados (Tabela 6, Tabela A8). Os efeitos negativos

da aplicação de NPK e do plantio em núcleos não foram conclusivos para a razão clorofila *a/b* (Tabela 6, Tabela A8).

Tabela 6. Modelos selecionados para a razão de clorofila *a/b* por e efeitos estimados dos níveis dos fatores fixos. E.P. = erro padrão dos estimados e I.C. = intervalo de confiança. Em negrito, os efeitos cujo intervalo de confiança não incluem o zero.

Modelos selecionados (termos fixos)				
$\Delta AIC = 0,0$ - Modelo 12 - Grupo + Adubo				
Efeitos fixos	Estimado	E. P.	I.C. 95%	
			2,5%	97,5%
Não Pioneira; ND; Linha (intercepto)	1,394	0,060	1,276	1,511
Pioneira	0,117	0,046	0,028	0,207
NPK	-0,026	0,016	-0,057	0,005
TV	0,002	0,015	-0,028	0,032
$\Delta AIC = 0,1$ - Modelo 15 - Grupo				
Efeitos fixos	Estimado	E. P.	I.C. 95%	
			2,5%	97,5%
Não Pioneira; ND; Linha (intercepto)	1,386	0,060	1,269	1,503
Pioneira	0,117	0,046	0,027	0,207
$\Delta AIC = 0,8$ - Modelo 13 - Grupo + Plantio				
Efeitos fixos	Estimado	E. P.	I.C. 95%	
			2,5%	97,5%
Não Pioneira; ND; Linha (intercepto)	1,394	0,060	1,277	1,511
Pioneira	0,116	0,045	0,028	0,204
Núcleo	-0,014	0,013	-0,039	0,011
$\Delta AIC = 0,9$ - Modelo 8 - Grupo + Adubo + Plantio				
Efeitos fixos	Estimado	E. P.	I.C. 95%	
			2,5%	97,5%
Não Pioneira; ND; Linha (intercepto)	1,400	0,060	1,282	1,518
Pioneira	0,116	0,045	0,029	0,204
NPK	-0,025	0,016	-0,056	0,005
TV	0,002	0,015	-0,028	0,032
Núcleo	-0,013	0,013	-0,038	0,012

*Fatores aleatórios selecionados: Bloco + Espécies + Data de Coleta.

**Todos os modelos comparados e os ΔAIC s respectivos estão na Tabela A8 do Apêndice.

Figura 8. Razão de clorofila *a/b* de espécies pioneiras (vermelho) e não pioneiras (preto). Os símbolos centrais representam as médias e as barras os erros padrão associados. Símbolos sólidos representam mudas nos plantios em núcleo e símbolos vazios mudas nos plantios em linhas. Códigos dos tipos de plantio e adubação conforme legenda da Figura 4.

Não foram encontrados efeitos do grupo funcional, do tipo de plantio, do tipo de adubo e ainda de nenhuma interação entre esses fatores para o teor de carotenóides, sendo o modelo nulo, que indica existência apenas de efeitos aleatórios, o melhor ranqueado. (Tabela 7, Figura 9, Tabela A9). As influências do grupo funcional e do tipo de plantio foram observadas separadamente em outros dois modelos (15 e 17 respectivamente) (Tabela 7, Tabela A9) e apresentaram grande variação, indicando apenas incertezas relacionadas aos efeitos desses fatores sobre o teor de carotenóides.

Tabela 7. Modelos selecionados para o teor de carotenóides ($\mu\text{g}/\text{cm}$) e efeitos estimados dos níveis dos fatores fixos. E.P. = erro padrão dos estimados e I.C. = intervalo de confiança. Em negrito, os efeitos cujo intervalo de confiança não incluem o zero.

Modelos selecionados (termos fixos)				
$\Delta\text{AIC} = 0,0$ - Modelo nulo (somente efeitos aleatórios)				
Efeitos fixos	Estimado	E. P.	I.C. 95%	
			2,5%	97,5%
Não Pioneira; ND; Linha (intercepto)	4,721	0,388	3,962	5,481
$\Delta\text{AIC} = 1,7$ - Modelo 15 - Grupo				
Efeitos fixos	Estimado	E. P.	I.C. 95%	
			2,5%	97,5%
Não Pioneira; ND; Linha (intercepto)	4,657	0,408	3,857	5,458
Pioneira	0,128	0,244	-0,350	0,606
$\Delta\text{AIC} = 1,8$ - Modelo 17- Plantio				
Efeitos fixos	Estimado	E. P.	I.C. 95%	
			2,5%	97,5%
Não Pioneira; ND; Linha (intercepto)	4,702	0,390	3,938	5,461
Nucleo	0,038	0,082	-0,119	0,199

*Fatores aleatórios selecionados: Bloco + Espécies + Data de Coleta.

**Todos os modelos comparados e os Δ AICs respectivos estão na Tabela A9 do Apêndice.

Figura 9. Conteúdo carotenoides por área ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) de espécies pioneiras (vermelho) e não pioneiras (preto). Os símbolos centrais representam as médias e as barras os erros padrão associados. Símbolos sólidos representam mudas nos plantios em núcleo e símbolos vazios mudas nos plantios em linhas. Códigos dos tipos de plantio e adubação conforme legenda da Figura 4.

Para a razão de clorofila total/carotenoides foi encontrado efeito do grupo funcional (Tabela 8, Tabela A9), sendo que espécies pioneiras apresentaram menor razão de clorofila total/carotenoides que espécies não pioneiras (Tabela 8, Figura 10). Os efeitos do tipo de adubo aplicado, do tipo de plantio e a interação entre grupo funcional e tipo de plantio foram incertezas indicadas na seleção de modelos (Tabela A9, Tabela 8). Das incertezas encontradas, a variável encontrada em um maior número de modelos e que aparenta maior efeito é a adição de NPK, apresentando efeito estimado positivo em todos os casos, ou seja, resultando em possível um aumento na razão clorofila total/ carotenóides (Tabela 8).

Tabela 8. Modelos seleccionados para a razão de clorofila total por carotenóides (CT/CAR) e efeitos estimados dos níveis dos fatores fixos. E.P. = erro padrão dos estimados e I.C. = intervalo de confiança. Em negrito, os efeitos cujo intervalo de confiança não incluem o zero.

Modelos seleccionados (termo fixo)				
$\Delta AIC = 0,0$ - Modelo 12 - Grupo + Adubo				
Efeitos fixos	Estimado	E. P.	I.C. 95%	
Não Pioneira; ND; Linha (intercepto)	8,582	0,306	2,5%	97,5%
Pioneira	-0,528	0,177	-0,875	-0,180
NPK	0,248	0,115	0,023	0,472
TV	0,016	0,112	-0,204	0,236
$\Delta AIC = 1,2$ - Modelo 8 - Grupo + Adubo + Plantio				
Efeitos fixos	Estimado	E. P.	I.C. 95%	
Não Pioneira; ND; Linha (intercepto)	8,124	0,533	7,079	9,169
Pioneira	-0,528	0,158	-0,838	-0,218
NPK	0,245	0,114	0,021	0,470
TV	0,015	0,112	-0,205	0,234
Núcleo	0,152	0,164	-0,169	0,473
$\Delta AIC = 1,8$ - Modelo 6 - Grupo + Adubo + Plantio + Grupo:Plantio				
Efeitos fixos	Estimado	E. P.	I.C. 95%	
Não Pioneira; ND; Linha (intercepto)	8,073	0,648	6,803	9,342
Pioneira	-0,415	0,200	-0,808	-0,023
NPK	0,243	0,115	0,019	0,468
TV	0,013	0,112	-0,207	0,232
Núcleo	0,254	0,206	-0,150	0,658
Pioneira:Núcleo	-0,220	0,185	-0,583	0,143
$\Delta AIC = 2,0$ - Modelo 15 - Grupo				
Efeitos fixos	Estimado	E. P.	I.C. 95%	
Não Pioneira; ND; Linha (intercepto)	8,697	0,295	8,118	9,275
Pioneira	-0,528	0,174	-0,869	-0,187

*Fatores aleatórios seleccionados: Espécies + Data de Coleta + Plantio:Data de Coleta.

**Todos os modelos comparados e os ΔAIC s respectivos estão na Tabela A10 do Apêndice.

Figura 10. Razão de clorofila total/carotenóides de espécies pioneiras (vermelho) e não pioneiras (preto). Os símbolos centrais representam as médias e as barras os erros padrão associados. Símbolos sólidos representam mudas nos plantios em núcleo e símbolos vazios mudas nos plantios em linhas. Códigos dos tipos de plantio e adubação conforme legenda da Figura 4.

3. Temperatura da superfície foliar e do solo

As folhas das espécies pioneiras apresentaram menor temperatura que as não pioneiras e as temperaturas superficiais foliares nos plantios em núcleo foram menores que nas folhas das mudas plantadas em linha (Tabela 9, Figura 9). Entretanto, quando as pioneiras estão em núcleos a diferença com as não pioneiras não é tão pronunciada (Tabela 9, Figura 11).

Tabela 9. Modelo selecionado para temperatura da superfície foliar e efeitos estimados dos níveis dos fatores fixos. E.P. = erro padrão dos estimados e I.C. = intervalo de confiança. Em negrito, os efeitos cujo intervalo de confiança não incluem o zero.

Modelos selecionados (termos fixos)				
$\Delta AIC = 0,0$ - Modelo 10 - Grupo + Plantio + Grupo:Plantio				
Efeitos fixos	Estimado	E. P.	I.C. 95%	
Não Pioneira; ND; Linha(intercepto)	28,691	1,925	24,596	32,142
Pioneira	-1,117	0,292	-1,689	-0,545
Núcleo	-1,354	0,271	-1,885	-0,824
Pioneira:Núcleo	0,953	0,404	0,161	1,744

*Fatores aleatórios selecionados: Bloco + Data de Coleta

**Todos os modelos comparados e os ΔAIC s respectivos estão na Tabela A11 do Apêndice.

Figura 11. Temperatura da superfície foliar de espécies pioneiras (vermelho) e não pioneiras (preto). Os símbolos centrais representam as médias e as barras os erros padrão associados. Símbolos sólidos representam mudas nos plantios em núcleo e símbolos vazios mudas nos plantios em linhas. Códigos dos tipos de plantio e adubação conforme legenda da Figura 4.

O plantio em núcleo apresentou menores temperaturas no nível do solo que o plantio em linhas (Tabela 10, Figura 12). As temperaturas da superfície do solo em área aberta entre os núcleos e em áreas abertas entre as linhas foram maiores que sob os sistemas de plantio (Tabela 10, Figura

12). A diminuição de temperaturas da superfície do solo nos núcleos em relação ao plantio linha foi maior sob os núcleos do que entre os núcleos (Tabela 10 e Figura 12). Os efeitos estimados do fator grupo funcional e da interação entre grupo funcional e local de tomada da temperatura não foram conclusivos, pois não estavam presentes em todos os modelos selecionados e apresentaram grande variação, incluindo o zero (Tabela 10).

Tabela 10. Modelos selecionados para temperatura da superfície do solo e efeitos estimados dos níveis dos fatores fixos. E.P. = erro padrão dos estimados e I.C. = intervalo de confiança. Em negrito, os efeitos cujo intervalo de confiança não incluem o zero.

Modelos selecionados (termos fixos)				
$\Delta AIC = 0,0$ - Modelo 11 - Plantio + Local + Plantio:Local				
Efeitos fixos	Estimado	E. P.	I.C. 95%	
			2,5%	97,5%
Não Pioneira; Linha; Sob (intercepto)	28,588	2,537	23,616	33,560
Núcleo	-1,804	0,362	-2,513	-1,094
Entre	1,650	0,202	1,254	2,045
Núcleo: Entre	1,403	0,284	0,846	1,960
$\Delta AIC = 1,2$ - Modelo 7 - Grupo + Plantio + Local + Plantio:Local				
Efeitos fixos	Estimado	E. P.	I.C. 95%	
			2,5%	97,5%
Não Pioneira; Linha; Sob (intercepto)	28,811	2,549	23,816	33,806
Pioneira	-0,433	0,521	-1,453	0,587
Núcleo	-1,814	0,362	-2,524	-1,104
Entre	1,650	0,202	1,254	2,045
Núcleo: Entre	1,403	0,284	0,846	1,960
$\Delta AIC = 1,8$ - Modelo 4 - Grupo + Plantio + Local + Plantio:Local + Grupo:Local				
Efeitos fixos	Estimado	E. P.	I.C. 95%	
			2,5%	97,5%
Não Pioneira; Linha; Sob (intercepto)	28,723	2,550	23,726	33,720
Pioneira	-0,269	0,540	-1,326	0,789
Núcleo	-1,813	0,362	-2,522	-1,103
Entre	1,825	0,253	1,330	2,320
Pioneira: Entre	-0,328	0,285	-0,886	0,230
Núcleo: Entre	1,400	0,284	0,844	1,957

*Fatores aleatórios selecionados: Bloco + Data de Coleta + Pareamento de Medidas

**Todos os modelos comparados e os ΔAIC s respectivos estão na Tabela A12 do Apêndice.

Figura 12. Temperatura da superfície do solo tomada sob os sistemas de plantio e entre os sistemas de plantio. Os símbolos centrais representam as médias e as barras os erros padrão associados. Símbolos sólidos representam mudas nos plantios em núcleo e símbolos vazios mudas nos plantios em linhas. Local da tomada de medida: EN = entre, SOB= sob; Tipo de plantio: LI = Linha, NU=Núcleo

Discussão

Os resultados do presente estudo indicam que as mudas plantadas no sistema de nucleação apresentam melhores condições em relação às mudas plantadas no sistema em linhas. As espécies, tanto pioneiras quanto não pioneiras, apresentaram algum nível de estresse. Entretanto, o efeito diferenciado do plantio em núcleo para espécies pioneiras e não pioneiras não foi conclusivo, assim como os efeitos da adição de nutrientes. O presente estudo agrega mais informações aos efeitos da nucleação e sobre as respostas de espécies pioneiras e não pioneiras às condições de estresse às quais estão expostas.

As mudas plantadas em núcleos em geral apresentaram valores mais altos de eficiência fotossintética máxima (F_v/F_m), que estão associados a plantas em melhores condições fisiológicas, ou sob menor nível de estresse (Baker & Rosenqvist, 2004; Baker 2008). Os teores de clorofila *a*, *b* e total também foram maiores, mesmo que em pequena proporção, nos plantios em núcleo. Uma vez que os pigmentos fotossintéticos, sobretudo as clorofilas, são degradados ou têm suas sínteses reduzidas sob diversas condições de estresse (Hendry, 1987; Hendry & Price, 1993; Ashraf & Harris, 2013), o maior teor de clorofilas apresentado em mudas plantadas em núcleos indica uma amenização dos possíveis estresses aos quais as plantas estão submetidas. Esses resultados evidenciam um balanço positivo no saldo de interações, prevalecendo os efeitos de facilitação nos núcleos (Callaway, 1997; Castanho, 2012; Castanho *et al.*, 2012). Considerando que os grupos funcionais não apresentaram diferenças em relação aos tratamentos, tanto as pioneiras quanto as não pioneiras parecem estar sendo facilitadas. Possíveis efeitos da nucleação como minimizar as temperaturas locais, consequentemente aumentando a umidade do solo e minimizando a perda de água pela planta, proteger contra o vento, reduzindo a perda de água pela perda da camada limítrofe da folha (Larcher, 1995), aumentar a deposição de serrapilheira e assim o teor de nutrientes no solo poderiam ser

os mecanismos de facilitação que explicariam o balanço positivo no saldo de interações.

Evidências como a forte associação espacial entre indivíduos arbóreos jovens e sob indivíduos adultos e o aumento do crescimento e sobrevivência de algumas espécies plantadas em núcleos, sugerem a importância da facilitação em áreas sob altos níveis de estresse como a restinga (Zamith, 2007; Castanho *et al.*, 2012). De acordo com Castanho (2012), a facilitação em restingas é explicada, pelo menos em parte, pela sombra fornecida pela planta facilitadora ou planta berçário. Esse sombreamento pode promover uma redução da fotoinibição, que se reflete em valores mais altos de F_v/F_m (Yang *et al.*, 2009; Badano *et al.*, 2011). As medidas de temperatura foliar obtidas dão suporte a esse mecanismo de facilitação em núcleos, uma vez que o plantio em núcleo foi efetivo em diminuir a temperatura das folhas, principalmente de espécies não pioneiras. As temperaturas do solo também foram menores nos núcleos, demonstrando eficiência do sistema de nucleação em minimizar temperaturas pelo sombreamento. Resultados similares de diminuição das temperaturas foram encontrados em estudos testando facilitação por sombreamento (Loik & Holl, 2001; Yang *et al.*, 2009, Badano *et al.*, 2011). Dessa forma, os resultados obtidos até o momento sugerem que, pelo menos em parte, o efeito de redução de estresse, indicado pelo maior F_v/F_m e o maior teor de clorofilas, pode ser explicado pela amenização das condições ambientais extremas como altas temperaturas e altos níveis de radiação solar. Apesar de não ter sido medida diretamente, é razoável supor que nos núcleos, pelo adensamento de plantas, o nível de radiação é mais baixo que nos plantios em linha.

O efeito de diminuição das temperaturas foliares nos núcleos ocorreu mesmo para espécies pioneiras, que em vários casos apresentavam a copa nas posições mais altas do núcleo e estando, portanto, menos sombreadas. Nesse sentido, é possível que o efeito de facilitação no núcleo não seja dado apenas pelo sombreamento direto das folhas. Considerando que houve menor temperatura do solo nos núcleos e que essa condição possibilita uma maior umidade no solo, o que aumentaria o turgor nas células vegetais,

havendo menor necessidade de abrir os estômatos, evitando a perda de água e diminuindo o estresse hídrico (Larcher, 1995). Além disso, o sombreamento do solo no interior do núcleo pode ser favorável para o estabelecimento e diversificação da biota do solo (Martius *et al.*, 2004), acelerando a ciclagem de nutrientes. Estudos envolvendo as taxas de decomposição, a umidade do solo e a composição da fauna de solo em núcleos poderiam avaliar outros mecanismos de facilitação propiciado pela nucleação.

Em relação à resposta dos grupos funcionais, os resultados encontrados para Fv/Fm sugerem que as mudas, tanto de pioneiras quanto de não pioneiras, sofrem algum tipo de estresse, apresentando um certo nível de fotoinibição. As médias de Fv/Fm de ambos os grupos funcionais, independentemente do tratamento ao qual as mudas foram submetidas, são menores que o valor considerado para plantas C3 livres de estresse em condições ótimas (0,832) (Bjorkman & Demmig-Adams, 1987). Logan *et al.* (2007) indicam que nas melhores condições, os valores de Fv/Fm devem estar, no mínimo, acima de 0,80 em folhas aclimatadas ao sol e acima de 0,77 para folhas aclimatadas à sombra.

Apesar dos valores médios de Fv/Fm das mudas em geral estarem abaixo do ótimo, o grupo das espécies não pioneiras apresenta valores ainda mais baixos de Fv/Fm em relação ao grupo das pioneiras, indicando que as não pioneiras sofrem maior fotoinibição. Padrões similares foram encontrados em alguns trabalhos testando os efeitos de diferentes níveis de irradiância em pioneiras e não pioneiras em condições de laboratório (Krause *et al.*, 2001; Ribeiro *et al.*, 2005; Silvestrini *et al.*, 2007; Favaretto *et al.*, 2011) e em campo (Lovelock *et al.*, 1994, Loik & Holl 2001). Uma explicação para o maior valor de Fv/Fm em pioneiras é que plantas desse grupo em geral, apresentam maiores taxas fotossintéticas, maiores taxas respiratórias e maior transpiração (Kitajima, 1994, Nogueira *et al.*, 2004; Silvestrini *et al.*, 2007). Essas características, associadas com a temperatura mais baixa de folhas das espécies pioneiras, devem contribuir para a diminuição da

fotoinibição de espécies pioneiras ao dissiparem o excesso de energia absorvida (Luttge, 1997; Krause *et al.*, 2001).

Em contrapartida, as não pioneiras parecem investir na absorção de maior quantidade de energia luminosa (Henry & Aarssen, 1997). O grupo das não pioneiras apresentou menor razão de clorofila *a/b*. Menores valores para essa razão são considerados uma adaptação para maior absorção de energia luminosa em lugares onde a luz é menos disponível, como no subosque de florestas (Henry & Aarssen, 1997). Assim, folhas aclimatadas à sombra possuem menor razão clorofila *a/b* em relação a folhas aclimatadas ao sol (Luttge, 1997; Poorter *et al.*, 2000). De acordo com Krause *et al.* (2001) e Favaretto *et al.* (2010) pioneiras têm maior capacidade de regular a razão clorofila *a/b*, aumentando essa razão sob maior incidência de luz. O aumento da razão clorofila *a/b*, em geral está associado a uma quantidade reduzida de clorofila *b* por clorofila *a* vinculadas ao complexo coletor de luz, resultando na diminuição do espectro de absorção de luz, sobretudo na faixa do azul, consequentemente reduzindo o estresse por luz por diminuir a capacidade de absorver energia luminosa (Krause *et al.*, 2001).

Para as espécies pioneiras, a razão de clorofila total/carotenóides foi menor do que para as não pioneiras. Resultados similares foram encontrados em Gonçalves *et al.* (2001) e podem representar uma maior habilidade de pioneiras em lidar com o excesso de radiação luminosa, uma vez que pioneiras apresentaram maior teor de carotenóides por clorofila. Carotenóides têm um importante papel na fotoproteção ao diminuir o excesso de energia redutora de estados excitados da clorofila que podem reagir com o oxigênio formando espécies reativas (Demmig Adams & Adams 1992). Outra hipótese é que pioneiras estão mais expostas a danos por altos níveis de radiação e por isso apresentaram menor da razão clorofila total/carotenóides. De acordo com Hendry & Price (1993) a redução da razão clorofila total/carotenóides é um indicador sensível de fotodanos e ataques oxidativos, uma vez que a clorofila é mais sensível a ataques oxidativos e a alto níveis de radiação que os carotenóides. Entretanto, embora ainda exista um certo grau de incerteza, o teor de clorofila total aparentemente não difere

entre pioneiras e não pioneiras, e a eficiência fotossintética máxima de pioneiras foi maior que de não pioneiras, dando maior suporte para a primeira hipótese.

Ao contrário do esperado, o maior efeito dos núcleos para não pioneiras foi apontado como inconclusivo, tanto para os valores de F_v/F_m quanto de clorofilas totais. Apesar dessa incerteza, alguns estudos que também avaliaram F_v/F_m demonstraram que espécies não pioneiras são mais propensas à fotoinibição sob altos níveis de radiação do que espécies pioneiras (Krause *et al.*, 2001; Silvestrini *et al.*, 2007; Favaretto *et al.*, 2001). Entretanto, como os resultados do presente estudo não foram conclusivos, seria importante a realização de análises futuras com um maior número de espécies ou utilizando sombreamento artificial controlado em campo como controle.

A adição de nutrientes não teve efeito nos parâmetros fisiológicos medidos, com exceção de efeitos pouco conclusivos do NPK sobre alguns parâmetros. Levando em consideração a relação positiva entre o conteúdo de clorofilas e o nitrogênio (Evans, 1989; Ciompi *et al.*, 1996), se o sistema de nucleação aumentasse a competição gerando um saldo negativo no balanço de interações seria esperado que em núcleos as mudas apresentassem menor teor de clorofila, por limitação no conteúdo de nitrogênio. Ademais, seria esperado que a adição de nutrientes em núcleos aumentasse o teor de clorofila por eliminar a competição por nutrientes (Tilman, 1982). Entretanto, a adubação química por NPK pode ser danosa, sobretudo em solos arenosos. Em função da baixa retenção de água, pode ocorrer um aumento da salinidade do solo, ocasionando problemas osmóticos. Além disso, a adubação química pode causar danos às raízes, devido ao contato com o cloreto de potássio das fórmulas NPK tradicionalmente utilizadas (Kluthcouski & Stone, 2003). O trabalho de Ferreira *et al.* (2009), estudando efeitos da adubação em uma área degradada sob restauração na Amazônia, não encontrou aumento significativo no F_v/F_m no teor de clorofilas (a, b e total) em indivíduos de *Bertholletia excelsa* pela adubação química (tendo como principal composto

o NPK) em relação ao tratamento controle. Por outro lado, a adubação verde (folhas e ramos) aumentou significativamente o F_v/F_m e o teor de clorofilas, contrastando com os resultados do presente estudo, em que a adubação com terra vegetal que não teve efeito. O tratamento de adubação verde de Ferreira *et al.*, (2009) fornece cobertura do solo, que pode minimizar temperaturas, aumentar a retenção de água e fornecer um ambiente mais propício para a fauna de solo (Martius *et al.*, 2004; Fernandes *et al.*, 2011), enquanto no presente estudo a terra vegetal foi colocada dentro da cova, e portanto apenas a disponibilização de nutrientes foi considerada.

Não foram encontradas evidências de interação entre a adição de nutrientes e o sistema de plantio ou grupo funcional, exceto para clorofila *b*. Tal fato pode indicar que a competição por nutrientes nos núcleos não chegaram a níveis restritivos que levariam a um efeito fotoinibitório pela competição por nitrogênio, como sugerido por Pollastrine *et al.* (2013). Uma hipótese alternativa é que o solo da área de plantio do presente estudo não apresenta déficit de nutrientes. O solo da planície de Caraguatatuba é predominantemente arenoso, entretanto apresenta uma camada superficial argilosa (Ferreira, 2013), provavelmente dada pelo deslizamento de solo argiloso da encosta 1967 (Ferreira, 2013). O solo argiloso é menos permeável e poderia reter os nutrientes no solo por mais tempo. Em relação a essa hipótese, a razão clorofila *a/b*, que parece não diferir entre os tipos de adubo aplicado, sugere que não deve estar havendo limitação por nitrogênio no solo da área de estudo. De acordo com a teoria de partição ótima do nitrogênio (Hirosaka & Terashima, 1995), quando ocorre limitação por nitrogênio, ou quando a disponibilidade desse nutriente é menor, espera-se que a razão clorofila *a/b* aumente principalmente em condições de alta luminosidade (Hirosaka & Terashima, 1995; Kitajima & Hogan, 2003). Entretanto, como os resultados relacionados aos efeitos da adubação sobre os parâmetros ecofisiológicos foram incertos, sugere-se que estudos futuros testem a aplicação de outros tipos de adubo, ou mesmo outras formas de aplicação dos adubos, diferentes dos testados no presente estudo.

Tanto de espécies pioneiras quanto de espécies não pioneiras apresentaram melhores condições nos plantios em núcleos, fornecendo evidências para o balanço positivo de interações no interior dos núcleos. Portanto, o presente estudo agrega mais uma informação aos efeitos benéficos do plantio em núcleos, além dos já descritos (Zahawi *et al.*, 2012; Holl *et al.*, 2013), que fornecem subsídios para a recomendação para a utilização do plantio em núcleos em restauração. Ressalta-se que o presente estudo não teve como objetivo analisar todos os aspectos das técnicas de nucleação. O foco foi analisar somente o balanço de interações em uma situação de agregação extrema de mudas (núcleo) quando comparado a uma situação de plantio em isolamento. Portanto, não é possível analisar nesse estudo outros aspectos relativos às técnicas de nucleação como atração de dispersores, custos relativos de implantação, viabilidade de manutenção, entre outros.

As diferenças encontradas entre os grupos de pioneiras e não pioneiras refletem as diferentes estratégias desses grupos para aquisição e uso de luz, e em como lidar com condições de estresse às quais estão submetidas. Análises de composição do solo na área estudada poderiam esclarecer algumas hipóteses levantadas sobre a possibilidade de o solo não apresentar déficit de nutrientes, o que excluiria a possibilidade de competição por esse fator, e somada a uma análise de fauna solo poderia elucidar mais um possível efeito de facilitação dos núcleos. Considerando as incertezas encontradas em relação ao efeito diferenciado do tipo de plantio para os dois grupos funcionais, recomenda-se a realização de testes com mais espécies. Adicionalmente, o acompanhamento dos mesmos indivíduos ao longo do tempo e por um período maior poderia ser importante para uma melhor caracterização das respostas dos grupos funcionais diante de uma maior variação de condições ambientais, havendo a possibilidade de que efeito positivo dos núcleos seja evidenciado apenas diante de condições ambientais mais extremas.

Conclusões

1. O plantio em núcleo favorece as mudas utilizadas para a restauração, que apresentaram características associadas a menores níveis de estresse, como maiores eficiências fotossintéticas máximas e maiores teores de clorofila.
2. A hipótese de que as mudas de espécies não pioneiras seriam favorecidas nos plantios em núcleo foi corroborada. Entretanto, não foram apenas as não pioneiras que apresentaram melhores condições em núcleos, pois as pioneiras responderam de forma semelhante.
3. Não foi corroborada a hipótese de que espécies pioneiras apresentariam melhores condições no plantio em linha do que no plantio em núcleo devido a competição por nutrientes nos núcleos. Consequentemente, a hipótese de que a adição de nutrientes diminuiria os efeitos da competição também foi rejeitada para o presente sistema de estudo.

Referências Bibliográficas

- Ashraf M.; Harris P. J. C. 2013. Photosynthesis under stressful environments: An overview. **Photosynthetica**, v. 51, n. 2. p.163
- Araújo, S.A.C.; Demicinis, B.B. 2009. Fotoinibição da Fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**. v. 7, n. 4, p. 463-472.
- Badano, E.I.; Samour–Nieva, O.R.; Flores, J. 2011. Emulating nurse plants to restore oak forests. **Ecological Engineering**, v. 37, p. 1244–1248
- Baker, N.R. 1993. Light-use efficiency and photoinhibition of photosynthesis in plants under environmental stress. IN: **Water deficits plant responses from cell to community** (Smith, J.A.C. & Griffiths, H. eds.). Bios Scientific Publisher, Oxford, p. 221-235.
- Baker, N.R. 2008. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 89-113.
- Baker, N.R.; Rosenqvist, E. 2004 Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, p. 1607-1621.
- Bates, D.; Maechler, M.; Bolker, B. 2014. lme4: **Linear mixed-effects models using Eigen and S4 classes**. 90 p.
URL: <http://cran.r-project.org/web/packages/lme4/lme4.pdf>
- Bazzaz, F.A. 1979. The physiological ecology of plant succession. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 10, p. 351-371.
- Belkhodja, R.; Morales, F.; Abadia, A.; Cómez-Aparisi, J.; Abadia, J. 1994. Chlorophyll fluorescence as a possible tool for salinity tolerance

screening in barley (*Hordeum vulgare* L.). **Plant Physiology**, v. 104, n. 2, p. 667- 673.

Berendse, F.; de Kroon, H; Braakhekke, W. G. 2007. **Acquisition, Use, and Loss of Nutrients**. IN: Functional plant ecology (F. Pugnaire & F. Valladares, eds.). CRC Press, Boca Raton. p.67-100.

Bertness, M . D.; Callaway, R. 1994. **Positive interactions in communities**. **Tree**, v. 9, n. 5, p. 191- 193.

Bjorkman, O.; Demmig-Adams, B. 1987 Photon Yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. **Planta**, v. 170, p. 489-504.

Bjorkman, O.; Powles, S. B. 1984. Inhibition of photosynthetic reactions under water stress: interaction with light level. **Planta**, v. 161, p. 490-504.

Bojovic, B; Stojanovic, j. 2005. Chlorophyll and Carotenoid Content in Wheat Cultivars as a Function of Mineral Nutrition. **Archives of Biological Sciences**, v. 57, p. 283-290.

Bolker, B. 2014. **Maximum likelihood estimation and analysis with the bbmle package**. p. 21.

URL. <http://cran.rproject.org/web/packages/bbmle/vignettes/mle2.pdf>

Bush, J.K. 2008: Aboveground and belowground growth of seedlings of an early and late successional species in infertile and fertile soil. **Southwestern Naturalist**. v.1, p.39-44.

Bussotti, F.; Desotgiu, R.; Cascio, C.; Pollastrini, M.; Gravano, E.; Gerosa, G.; Marzuoli, R.; Nali, C.; Lorenzini, G.; Salvatori, E.; Manes, F.; Schaub, M.; Strasser, R.J. 2011. Ozone stress in woody plants assessed with

chlorophyll a fluorescence. A critical reassessment of existing data.

Environmental and Experimental Botany, v. 73, p. 19–30.

Burnham, K.P., Anderson, D.R. **Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach**. 2 ed. New York: Springer. 2002. 488p.

Callaway, R.M.; Walker, L.R. 1997. Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. **Ecology** v. 78, p. 1958-1965.

Callaway, R.M. 1997. Positive interaction in plant communities and the individualistic continuum concept. **Oecologia**, v. 112, p. 143-149.

Castanho, C.T. **Facilitação entre plantas e suas implicações para a dinâmica e restauração de restingas**. 2012.178 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. 2012.

Castanho, C.T.; Oliveira, A.A.; Prado P.I. 2012. The importance of plant life form on spatial associations along a subtropical coastal dune gradient. **Journal of Vegetation Science**, v. 23, p. 952–961.

Castro, Y; Fetcher, N; Fernandez, D.S. 1995 Chronic photoinhibition in seedlings of tropical trees. **Physiologia Plantarum**. v. 94, p. 560–565.

Catunda, M.G; Freitas, S.P; Oliveira, J.G; Silva, C.M.M. 2005. Efeitos de herbicidas na atividade fotossintética e no crescimento de abacaxi (*Ananas comossus*). **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 115-121.

Ceacero, C.J.; Díaz-Hernades, J.L.; Campo A.D.; Navarro, R.M. 2012. Evaluación temprana de técnicas de restauración forestal mediante fluorescencia de la clorofila y diagnóstico de vitalidad de brinzales de

encina (*Quercus ilex* sub. *ballota*). **Bosque**. 2012, v. 33, n. 2, p. 191-202.

Ciampi, S.; Gentili, E.; Guidi, L.; Soldatini, G. F. 1996. The effect of nitrogen deficiency on leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in sunflower. **Plant Science**, v. 118, n. 2, p. 177-184.

Corbin, J.D.; Holl, K.D. 2012. Applied nucleation as a forest restoration strategy. **Forest Ecology and Management**, v. 265, p. 37-46.

Delitti, W.B.C; Meirelles, S.T. ; Mantovani, W.; Costa, V.C.I.; Pagano, F.; Bozzo, G.O. 2000. Esclerofilia e nitrogênio em plantas dos Cerrados de Emas, Pirassununga, SP. V Simposio de Ecossistemas Brasileiros: Conservação, Vitória - ES. **Anais do V Simpósio de Ecossistemas Brasileiros**, ACIESP, São Paulo, p. 317–324.

Demmig-Adams, B.; Adams, W.W. 1992. Carotenoid composition in sun and shade leaves of plants with different life forms. **Plant Cell Environment**, v. 15, p. 411-419.

Efeoglu, B.; Terzioglu, S. 2009. Photosynthetic responses of two wheat varieties to high temperature. **Eurasia Journal of Bioscience**, v. 3, p. 97-106.

Evans, J.R. 1989. Photosynthesis and nitrogen relationship in leaves of C3 plants. **Oecologia**, v.78, n.1, p.9-19.

Favaretto V; Martinez C.A; Soriani H; Furriel, R. 2011. Differential responses of antioxidant enzymes in pioneer and late succesional tropical tree species grown under sun and shade conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v. 70. p. 20-28.

- Ferreira, M. J.; Ferraz, J.B.S. 2009. Photosynthetic parameters of young Brazil nut (*Bertholletia excelsa* H. B.) plants subjected to fertilization in a degraded area in Central Amazonia. **Photosynthetica**, v. 47, n. 4, p. 616-620.
- Ferreira, F.S. **Análise da influência das propriedades físicas do solo na deflagração dos escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar (SP)**. 2013. 112 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas Universidade de São Paulo. 2013.
- Fetcher, N.; Haines, B.L.; Cordero, R.A.; Lodge, D.J.; Walker, L.R.; Fernandez, D.S.; Lawrence, W.T. 1996. Responses of tropical plants to nutrients and light on a landslide in Puerto Rico. **The Journal of Ecology**, v.84, n.3, p.331-341.
- Gebrekirstos, A.; Teketay, D.; Fetene, M.; Mitlohner, R. 2006. Adaptation of five co-occurring tree and shrub species to water stress and its implication in restoration of degraded lands. **Forest Ecology and Management**, v. 229, p. 259-267.
- Gleeson, S.K.; Tilman, D. 1990. Allocation and the transient dynamics of succession on poor soils. **Ecology**. v. 71, p. 1144–1155.
- Gonçalves, J.F.C.; Marengo, R.A.; Vieira, G. 2001. Concentrations of photosynthetic pigments and chlorophyll fluorescence of *Swietenia macrophylla* king and *Dipteryx odorata* Aubl. Willd. under two light environments. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 13, p. 149-157.
- Gonçalves, J.F.C.; Silva, C.E.M.; Guimarães, D. G. 2009. Fotossíntese e potencial hídrico foliar de plantas jovens de andiroba submetidas à

deficiência hídrica e à reidratação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 1, p. 8-14.

Gonçalves, J.F.C.; Santos Jr., U.M. 2005. Utilization of the chlorophyll a fluorescence technique as a tool for selecting tolerant species to environments of high irradiance. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.17, p. 307-313.

Hendry, G. A. F.; Houghton, J. D.; Brown, S. B. 1987. The degradation of chlorophyll a biological enigma. **New Phytologist**, v. 107, n. 2, p. 255-302.

Hendry, G. A. F.; Price, A. H. 1993. Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. IN: **Methods in Comparative Plant Ecology** (G.A.F. Hendry & J.P. Grime, eds.). Chapman & Hall, London, p. 148-152.

Henry, H.A.L; Aarsen, L.W. 1997. On the relationship between shade tolerance and shade avoidance in woodland plants. **Oikos**, v. 80, p. 575–582.

Hirosaka, K.; Terashima, I. 1995. A model of the acclimation of photosynthesis in the leaves of C3 plants to sun and shade with respect to nitrogen use. **Plant, Cell and Environment**, v. 18, p. 605–618.

Holl, K.D.; Zahawi, R.A.; Cole, R.J.; Ostertag, R.; Cordell, S. 2011. Planting seedlings in tree islands versus plantations as a large-scale tropical forest restoration strategy. **Restoration Ecology**, v. 19, p. 470–479.

Holl, K.D.; Stout, V.M.; Reid, J.L.; Zahawi, R.A. 2013. Testing heterogeneity–diversity relationships in tropical forest restoration. **Oecologia**, v. 173, p. 569–578.

- Huang, Z. A.; Jiang, D.A.; Yang, Y.; Sun, J.W.; Jin, S.H. 2004. Effects of nitrogen deficiency on gas exchange, chlorophyll fluorescence, and antioxidant enzymes in leaves of rice plants. **Photosynthetica**, v. 3, n. 42, p. 357-364.
- Kitajima, K. 1994. Relative importance of photosynthetic traits and allocation patterns as correlates of seedling shade tolerance of 13 tropical trees. **Oecologia**, v. 98, p. 419–428.
- Kitajima, K.; Hogan, K. P. 2003. Increases of chlorophyll a/b ratios during acclimation of tropical woody seedlings to nitrogen limitation and high light. **Plant, Cell and Environment**, v. 26, p. 857 - 865.
- Kluthcouski J.; Stone, L. F. 2003. Principais fatores que interferem no crescimento radicular das culturas anuais, com ênfase no Potássio. **Informações Agronômicas**. n. 103, p. 5 -11.
- Krause, G.H.; Koroleva, O.Y.; Dalling, W.; Winter, K. 2001. Acclimation of tropical tree seedlings to excessive light in simulated tree-fall gaps. **Plant Cell Environment**, v. 24, p. 1345–1352.
- Larcher, W. 1995. **Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of function groups**. 3. ed. Berlin: Springer-Verlag. 1995. 506p.
- Liu, C.; Liu Y.; Guo, K.; Fan, D.; Li, G.; Zheng, Y.; Yu, L.; Yang, R. 2011. Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst habitats of southwestern China. **Environmental and Experimental Botany**, v. 71. p. 174-183.
- Logan, B.A.; Adams, W.W.; Demmig-Adams, B. 2007. Avoiding common pitfalls of chlorophyll fluorescence analysis under field conditions. **Functional Plant Biology**, v. 34, p. 853–859.

- Loik, M.E.; Holl, K.D. 2001. Photosynthetic responses of tree seedlings in grass and under shrubs in early-successional old fields, Costa Rica. **Oecologia**, v. 127, p. 40-50.
- Lovelock, C.E.; Jebb, B.M.; Osmond, C.B. 1994. Photoinhibition and recovery in a plant species: response to disturbance. **Oecologia**, v. 97, p. 297-307.
- Lüttge, U. **Physiological ecology of tropical plants**. Berlim: Springer-Verlag. 1987. 384p.
- Martius, C.; Höfer, H.; Garcia, M.V.B.; Römbke, J.; Förster, B.; Hanagarth, W. 2004. Microclimate in agroforestry systems in central amazônia: does canopy closure matter to soil organisms? **Agroforestry Systems**, v. 60, p. 291-304
- Mazza, C. A. 2000. Functional significance and induction by solar radiation of ultraviolet-absorbing sunscreens in field-grown soybean crops. **Plant Physiology**, v. 122, n. 1, p. 117-126.
- Mendelssohn, I. A.; Mckee, K.L.; Kong, T. 2001. A comparison of physiological indicators of sublethal cadmium stress in wetland plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 46, p. 263-275.
- Mesquita, R. C. G.; Ickes, K.; Ganade, G.; Williamson, G. B. 2001. Alternative successional pathways in the Amazon Basin. **Journal of Ecology**, v. 89, p. 528–537.
- Meyer, S.; Genty, B. 1999. Heterogeneous inhibition of photosynthesis over the leaf surface of *Rosa rubiginosa* L. during water stress and abscisic acid treatment: induction of a metabolic component by limitation of CO₂ diffusion. **Planta**, v. 210, p. 126-131.

Mielke, M.S.; Schaffer, B. 2010. Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence and pigment indexes of *Eugenia uniflora* L. in response to changes in light intensity and soil flooding. *Tree Physiology*, v. 30, p. 45-55.

Nogueira, A.; Martinez, C.A.; Ferreira, L.L.; Prado, C.H.B.A. 2004. Photosynthesis and water use efficiency in twenty tropical tree species of differing succession status in a Brazilian reforestation. **Photosynthetica**, v. 42, n. 3, p. 351-356.

Norisada, M.; Kojima, K. 2005. Photosynthetic characteristics of dipterocarp species planted on degraded sandy soils in southern Thailand. **Photosynthetica**, v. 43, p. 491-499.

Parrotta, J.A.; Knowles, O.H.; Wunderle, J.M.J. 1997. Development of floristic diversity in 10-year old restoration forests on a bauxite mined site in Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 99, p. 21–42.

Pinto, C. B.; Marques, R. 2003. Aporte de nutrientes por frações da serapilheira em sucessão ecológica de um ecossistema da floresta atlântica. **Revista floresta**, v. 33, n. 3, p. 257-264, 2003.

Pollastrini, M.; Holland, V.; Bruggemann, W.; Koricheva, J.; Jussila, I.; Scherer-Lorenzen, M.; Berger, S.; Bussotti, F. 2014. Interactions and competition processes among tree species in young experimental mixed forests, assessed with chlorophyll fluorescence and leaf morphology. **Plant Biology**, v. 16, p. 323–331.

Poorter, L.R.; Kwant, R.; Hernandez, R.; Medina, E.; Werger, M.J.A. 2000. Leaf optical properties in Venezuelan cloud forest trees. **Tree Physiology**, v. 20, p. 519-526.

- Poorter, H.; Garnier, E. 2007. Ecological significance of inherent variation in relative growth rate and its components, IN: **Functional plant ecology** (F. Pugnaire & F. Valladares, eds.). CRC Press, Boca Raton. p.67-100.
- Porra, R. J.; Thompson, W. A.; Kridemann, P. E. 1989. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. **Biochimic et Biophysica Acta**, v. 975, p. 384-394.
- Rascher, U.; Liebig, M.; Lüttge, U. 2000. Evaluation of instant light-responses curves of chlorophyll parameters obtained with a portable chlorophyll fluorometer on site in the field. **Plant Cell Environment**, v. 23, n. 12, p. 1397-1405.
- Reis A.; Bechara, F. C.; Espíndola M. B. de; Vieira, N. K. 2003. Restauração de Áreas Degradadas: A Nucleação como Base para os Processos Sucessionais. **Revista Natureza & Conservação**. v. 1, n. 1.
- Rennenberg, H.; Loreto, F.; Polle, A.; Brilli, F.; Fares, S.; Beniwal, R. S. e Gessler, A. 2006. Physiological responses of forest trees to heat and drought. **Plant Biology**. v. 8, n. 5, p.556-71.
- Ribeiro, R.V.; Souza, G.M.; Oliveira, R.F.; Machado, E.C. 2005. Photosynthetic responses of tropical tree species from different successional groups under contrasting irradiance conditions. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 28, n. 1, p. 149-161.
- Rodrigues, R.R.; Lima, R.A.F.; Gandolfi, S.; Nave, A.G. 2009. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation**, v. 142, p. 1242–1251.

- Santos Jr., U.M.; Gonçalves, J.F.C.G.; Feldpausch, T.R. 2006. Growth, leaf nutrient concentration and photosynthetic nutrient use efficiency in tropical tree species planted in degraded areas in central Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 226, p. 299-309.
- Shob, C; Prieto, I; Armas, C; Pugnaire, F.I. 2014. Consequences of facilitation: one plant's benefit is another plant's cost. **Functional Ecology**, v. 28, p. 500-508.
- Siddique, I.; Vieira, I.C.G.; Schmidt, S.; Lamb, D.; Carvalho, C.J.R.; Figueiredo, R.D.; Blomberg, S.; Davidson, E.A. 2010. Nitrogen and phosphorus additions negatively affect tree species diversity in tropical forest regrowth trajectories. **Ecology**, v. 91, p. 2121–2131.
- Silvestrini, M.; Válio, I.F.M.; Mattos, E.A. 2007. Photosynthesis and carbon gain under contrasting light levels in seedlings of a pioneer and a climax tree from a Brazilian Semideciduous Tropical Forest. **Revista Brasileira de Botânica**, v.30, n.3, p. 463-474.
- Strasser, R.J.; Tsimilli-Michael, M.; Srivastava, A. (2004). Analysis of the chlorophyll fluorescence transient, IN: **Chlorophyll Fluorescence: A Signature of Photosynthesis, Advances in Photosynthesis and Respiration** (Papageorgiou, G.C. & Govindjee, eds.) Springer, Dordrecht, pp. 321–362.
- Swaine, M.D.; Whitmore, T.C. 1988. On the definition of ecological species groups in tropical rain forests. **Vegetatio**, v. 75, p. 81-86.
- Tilman, D. 1982. **Resource competition and community structure**. Princeton:N.J. Princeton University Press. 296p.
- Tilman, D.; Wedin, D. 1991. Dynamics of nitrogen competition between successional grasses. **Ecology**, v. 2, p. 1038-1049.

- Veenendaal, E.M.; Swaine, M.D.; Lecha, R.T.; Walsh, M.F.; Abebrese, I.K.; Owusu-Afriyie, K. 1996. Responses of West African forest tree seedlings to irradiance and soil fertility. **Functional Ecology**, v. 10, p. 501-511.
- Wedin, D.; Tilman, D. 1993. Competition among grasses along a nitrogen gradient: initial conditions and mechanisms of competition. **Ecological Monographs**, v. 6, n. 3, p. 199-229.
- Wellburn, A.R. 1994. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, v. 144, n. 3, p. 307-313.
- Yang, L.; Liu, N.; Ren, H; Wang, J. 2009. Facilitation by two exotic *Acacia*: *Acacia auriculiformis* and *Acacia mangium* as nurse plants in South China. **Forest Ecology and Management**, v. 257, p. 1786–1793.
- Yarranton, G.A.; Morrison, R.G. 1974. Spatial dynamics of a primary succession: nucleation. **Journal of Ecology**, v.62, p.417–428.
- Zahawi, R.A.; Augspurger, C.K. 2006. Tropical forest restoration: tree islands as recruitment foci in degraded lands of Honduras. **Ecological Applications**, v. 16, p. 464–478.
- Zahawi, R.A.; Holl, K.D.; Cole, R.J.; Reid, J.L. 2012. Testing applied nucleation as a strategy to facilitate tropical forest recovery. **Journal of Ecology**, v. 50, p. 88–96
- Zamith, L. R. **Restauração da vegetação de restinga: da prática à teoria**. 2007. 158 f. Tese (Doutorado em Ciência Biológicas) – Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2007.

- Zanandrea, I.; Nassi F.L.; Turchetto, A.C.; Braga, E.J.B.; Peters, J.A.; Bacarin, M.A. 2006. Efeito da salinidade sob parâmetros de fluorescência em *Phaseolus vulgaris*. **Revista Brasileira Agrociência**, v.12, n.2, p.157-161, 2006.
- Zhang, Q.; Chen, Y.J.; Song, L.Y.; Liu, N.; Sun, L.L.; C. L. Peng, C.L. 2012. Utilization of lightflecks by seedlings of five dominant tree species of different subtropical forest successional stages under low-light growth conditions. **Tree Physiology**, v. 32, p. 545–553.
- Zuur, A.F.; Ieno E.N.; Walker, N.J.; Saveliev, A.A.; Smith, G.M. **Mixed effects models and extensions in ecology with R**. 3. ed. London:Springer. 2009. 574p.

Apêndices

Tabela A1. Lista de espécies utilizadas no plantio na área da UTGCA, em Caraguatatuba (SP).

a) Espécies não-pioneiras.	b) Espécies pioneiras
<i>Calophyllum brasiliense</i>	<i>Rapanea umbellata</i>
<i>Tabebuia cassinoides</i>	<i>Myrsine coriacea (Rapanea ferruginea)</i>
<i>Jacaranda puberula</i>	<i>Schinus terebentifolius</i>
<i>Ocotea pulchella</i>	<i>Erythrina speciosa</i>
<i>Syagrus romanzoffiana</i>	<i>Citharexylum myrianthum</i>
<i>Myrcia bicarinata</i>	<i>Schizolobium parahyba</i>
<i>Annona glabra</i>	<i>Aegiphila sellowiana</i>
<i>Virola oleifera</i>	<i>Rapanea venosa</i>
<i>Pouteria sp.</i>	<i>Psidium catleianum</i>
<i>Myrcia multiflora</i>	<i>Guapira opposita</i>
<i>Ternstroemia brasiliensis</i>	<i>Solanum cinnamomeum</i>
<i>Eugenia astrigens (Eugenia umbelliflora)</i>	<i>Rapanea guianensis</i>
<i>Eugenia brasiliensis</i>	<i>Cecropia pachystachya</i>
<i>Gomidesia fenzliana</i>	
<i>Eriotheca pentahphylla</i>	
<i>Euterpe edulis</i>	
<i>Ficus insipid</i>	
<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	
<i>Matayba guianensis</i>	
<i>Erythroxylum amplifolium</i>	
<i>Myrcia rostrata</i>	
<i>Calyptanthus concinna</i>	
<i>Eugenia sp. 2</i>	
<i>Rollinia sylvatica</i>	
<i>Erythroxylum cf. puchrum</i>	
<i>Myrciaria glazioviana</i>	
<i>Guatteria nigrescens</i>	
<i>Cupania oblongifolia</i>	
<i>Maytenus robusta</i>	
<i>Manilkara subsericea</i>	
<i>Bactris setosa</i>	
<i>Eugenia cf. neoglomerata</i>	

Tabela A2. Mudanças amostradas por grupo funcional e por espécies para eficiência fotossintética máxima do PSII (Fv/Fm), nos tratamentos compostos pela combinação de tipo de plantio com tipo de adubo aplicado.

Grupo	LIND	LINPK	LITV	NUND	NUNPK	NUTV	Total
Pioneiras	83	82	80	81	85	91	502
Não Pioneiras	100	91	98	106	105	114	614

Espécies							
<i>Myrsine coriacea</i>	24	26	27	32	34	35	178
<i>Citharexylum myrianthum</i>	30	29	32	30	31	32	184
<i>Solanum cinnamomeum</i>	29	27	21	19	20	24	140
<i>Calophyllum brasiliense</i>	38	35	38	40	38	39	228
<i>Ocotea pulchella</i>	28	21	24	30	29	36	168
<i>Eugenia umbelliflora</i>	34	35	36	36	38	39	218

Tabela A3. Seleção de modelos para avaliar a influência do grupo funcional, tipo de plantio e tipo de adubo aplicado na eficiência fotossintética máxima (Fv/Fm). G.F. = grupo funcional, Ad = adubação, PI= plantio, gl= graus de liberdade, AIC= critério de informação de Aikake. Em negrito, os modelos selecionados ($\Delta AIC \leq 2$).

Modelos #	Termos incluídos							Critérios de seleção		
	G.F.	Ad	PI	G.F. X Ad	G.F. X PI	Ad X PI	G.F. X Ad X PI	gl	AIC	ΔAIC
Saturado	X	X	X	X	X	X	X	18	-3282,2	9,1
1	X	X	X	X	X	X		16	-3284,3	7
2	X	X	X	X	X			14	-3287,5	3,8
3	X	X	X	X		X		15	-3283,3	8
4	X	X	X		X	X		14	-3288	3,3
5	X	X	X	X				13	-3286,6	4,7
6	X	X	X		X			12	-3291,2	0,1
7	X	X	X			X		13	-3287	4,3
8	X	X	X					11	-3290,3	1,1
9	X	X		X				12	-3285,3	6
10	X		X		X			10	-3291,3	0
11		X	X			X		12	-3285,5	5,9
12	X	X						10	-3289	2,3
13	X		X					9	-3290,4	0,9
14		X	X					10	-3288,7	2,6
15	X							8	-3289,1	2,3
16		X						9	-3287,4	3,9
17			X					8	-3288,8	2,5
Nulo								7	-3287,5	3,9

Tabela A4. Mudas amostradas por grupo funcional e por espécies para teor de pigmentos fotossintéticos nos tratamentos de combinação de tipo de plantio com tipo de adubo aplicado

Grupo	LIND	LINPK	LITV	NUND	NUNPK	NUTV	Total
Pioneiras	50	50	53	42	50	52	297
Não Pioneiras	58	48	56	55	61	66	344

Espécies							
<i>Myrsine coriacea</i>	13	15	17	16	21	21	103
<i>Citharexylum myrianthum</i>	22	22	24	21	22	23	134
<i>Solanum cinnamomeum</i>	15	13	12	5	7	8	60
<i>Calophyllum brasiliense</i>	22	19	21	22	23	22	129
<i>Ocotea pulchella</i>	18	11	14	12	14	20	89
<i>Eugenia umbelliflora</i>	18	18	21	21	24	24	126

Tabela A5. Seleção de modelos para avaliar a influência do grupo funcional, tipo de plantio e tipo de adubo aplicado no teor de clorofila a por área ($\mu\text{g}/\text{cm}$). G.F. = grupo funcional, Ad = adubação, Pl= plantio, gl= graus de liberdade, AIC= critério de informação de Aikake. Em negrito, os modelos selecionados ($\Delta \text{AIC} \leq 2$).

Modelos #	Termos incluídos							Critérios de seleção		
	G.F.	Ad	Pl	G.F. X Ad	G.F. X Pl	Ad X Pl	G.F. X Ad X Pl	gl	AIC	ΔAIC
Saturado	X	X	X	X	X	X	X	16	3436,6	15,5
1	X	X	X	X	X	X		14	3433,5	12,3
2	X	X	X	X	X			12	3431,2	10
3	X	X	X	X		X		13	3432,8	11,7
4	X	X	X		X	X		12	3429,8	8,7
5	X	X	X	X				11	3430,5	9,3
6	X	X	X		X			10	3427,6	6,4
7	X	X	X			X		11	3429,2	8
8	X	X	X					9	3426,9	5,7
9	X	X		X				10	3434,9	13,7
10	X		X		X			8	3423,9	2,7
11		X	X			X		10	3427,2	6
12	X	X						8	3431,3	10,1
13	X		X					7	3423,2	2
14		X	X					8	3424,9	3,7
15	X							6	3427,6	6,5
16		X						7	3429,3	8,1
17			X					6	3421,2	0
Nulo								5	3425,6	4,5

Tabela A6. Seleção de modelos para avaliar a influência do grupo funcional, tipo de plantio e tipo de adubo aplicado, no teor de clorofila *b* ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$). G.F. = grupo funcional, Ad = adubação, Pl= plantio, gl= graus de liberdade, AIC= critério de informação de Aikake. Em **negrito**, os modelos selecionados ($\Delta \text{AIC} \leq 2$).

Modelos #	Termos incluídos							Critérios de seleção		
	G.F.	Ad	Pl	G.F. X Ad	G.F. X Pl	Ad X Pl	G.F. X Ad X Pl	gl	AIC	ΔAIC
Saturado	X	X	X	X	X	X	X	17	2706,3	3,4
1	X	X	X	X	X	X		15	2704,8	1,9
2	X	X	X	X	X			13	2705,2	2,3
3	X	X	X	X		X		14	2706,6	3,7
4	X	X	X		X	X		13	2702,9	0
5	X	X	X	X				12	2706,8	3,9
6	X	X	X		X			11	2703,5	0,6
7	X	X	X			X		12	2704,7	1,8
8	X	X	X					10	2705	2,1
9	X	X		X				11	2721,7	18,9
10	X		X		X			9	2704,5	1,6
11		X	X			X		11	2706	3,1
12	X	X						9	2719,9	17
13	X		X					8	2706	3,1
14		X	X					9	2706,4	3,5
15	X							7	2721,2	18,3
16		X						8	2721,3	18,4
17			X					7	2707,3	4,4
Nulo								6	2722,5	19,6

Tabela A7. Seleção de modelos para avaliar a influência do grupo funcional, tipo de plantio e tipo de adubo aplicado, no teor de clorofila total ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$). G.F. = grupo funcional, Ad = adubação, Pl= plantio, gl= graus de liberdade, AIC= critério de informação de Akaike. Em negrito, os modelos selecionados ($\Delta \text{AIC} \leq 2$).

Modelos #	Termos incluídos							Critérios de seleção		
	G.F.	Ad	Pl	G.F. X Ad	G.F. X Pl	Ad X Pl	G.F. X Ad X Pl	gl	AIC	ΔAIC
Saturado	X	X	X	X	X	X	X	16	3937,4	10,9
1	X	X	X	X	X	X		14	3934	7,5
2	X	X	X	X	X			12	3932,9	6,4
3	X	X	X	X		X		13	3934,5	8
4	X	X	X		X	X		12	3930,8	4,3
5	X	X	X	X				11	3933,2	6,7
6	X	X	X		X			10	3929,7	3,3
7	X	X	X			X		11	3931,2	4,7
8	X	X	X					9	3930,1	3,6
9	X	X		X				10	3941,8	15,4
10	X		X		X			8	3927,2	0,7
11		X	X			X		10	3930,2	3,7
12	X	X						8	3938,7	12,3
13	X		X					7	3927,6	1,1
14		X	X					8	3929	2,5
15	X							6	3936,4	9,9
16		X						7	3937,8	11,4
17			X					6	3926,5	0
Nulo								5	3935,4	9

Tabela A8. Seleção de modelos para avaliar a influência do grupo funcional, tipo de plantio e tipo de adubo aplicado, na razão de clorofila *a/b*. G.F. = grupo funcional, Ad = adubação, PI= plantio, gl= graus de liberdade, AIC= critério de informação de Aikake. Em negrito, os modelos selecionados ($\Delta AIC \leq 2$).

Modelos #	Termos incluídos							Critérios de seleção		
	G.F.	Ad	PI	G.F. X Ad	G.F. X PI	Ad X PI	G.F. X Ad X PI	gl	AIC	ΔAIC
Saturado	X	X	X	X	X	X	X	16	-489	4,8
1	X	X	X	X	X	X		14	-485,3	8,5
2	X	X	X	X	X			12	-489,1	4,7
3	X	X	X	X		X		13	-487	6,8
4	X	X	X		X	X		12	-487,5	6,3
5	X	X	X	X				11	-490,7	3,1
6	X	X	X		X			10	-491,2	2,6
7	X	X	X			X		11	-489,2	4,6
8	X	X	X					9	-492,9	0,9
9	X	X		X				10	-491,6	2,2
10	X		X		X			8	-491,3	2,5
11		X	X			X		10	-486	7,8
12	X	X						8	-493,8	0
13	X		X					7	-493	0,8
14		X	X					8	-489,7	4,1
15	X							6	-493,7	0,1
16		X						7	-490,6	3,2
17			X					6	-489,8	3,9
Nulo								5	-490,6	3,1

Tabela A9. Seleção de modelos para avaliar a influência do grupo funcional, tipo de plantio e tipo de adubo aplicado, no teor carotenóides por área. G.F. = grupo funcional, Ad = adubação, Pl= plantio, gl= graus de liberdade, AIC= critério de informação de Aikake. Em negrito, os modelos selecionados ($\Delta AIC \leq 2$).

Modelos #	Termos incluídos							Critérios de seleção		
	G.F.	Ad	Pl	G.F. X Ad	G.F. X Pl	Ad X Pl	G.F. X Ad X Pl	gl	AIC	ΔAIC
Saturado	X	X	X	X	X	X	X	16	1901,9	18,9
1	X	X	X	X	X	X		14	1898,2	15,2
2	X	X	X	X	X			12	1895,3	12,2
3	X	X	X	X		X		13	1896,3	13,2
4	X	X	X		X	X		12	1894,3	11,2
5	X	X	X	X				11	1893,3	10,2
6	X	X	X		X			10	1891,3	8,3
7	X	X	X			X		11	1892,3	9,2
8	X	X	X					9	1889,4	6,3
9	X	X		X				10	1891,6	8,5
10	X		X		X			8	1888,5	5,4
11		X	X			X		10	1890,6	7,6
12	X	X						8	1887,6	4,6
13	X		X					7	1886,5	3,4
14		X	X					8	1887,7	4,6
15	X							6	1884,7	1,7
16		X						7	1886	2,9
17			X					6	1884,9	1,8
Nulo								5	1883,1	0

Tabela A10. Seleção de modelos para avaliar a influência do grupo funcional, tipo de plantio e tipo de adubo aplicado, na razão de clorofila total/carotenoides. G.F. = grupo funcional, Ad = adubação, Pl= plantio, gl= graus de liberdade, AIC= critério de informação de Aikake. Em negrito, os modelos selecionados ($\Delta AIC \leq 2$).

Modelos #	Termos incluídos							Critérios de seleção		
	G.F.	Ad	Pl	G.F. X Ad	G.F. X Pl	Ad X Pl	G.F. X Ad X Pl	gl	AIC	ΔAIC
Saturado	X	X	X	X	X	X	X	17	2046,2	11,1
1	X	X	X	X	X	X		15	2043,5	8,4
2	X	X	X	X	X			13	2040	4,9
3	X	X	X	X		X		14	2042,9	7,8
4	X	X	X		X	X		13	2040,5	5,4
5	X	X	X	X				12	2039,4	4,3
6	X	X	X		X			11	2036,9	1,8
7	X	X	X			X		12	2039,9	4,8
8	X	X	X					10	2036,3	1,2
9	X	X		X				11	2038,2	3,1
10	X		X		X			6	2040,9	5,8
11		X	X			X		11	2043,8	8,7
12	X	X						9	2035,1	0
13	X		X					8	2038,2	3,1
14		X	X					9	2040,2	5,1
15	X							7	2037,1	2
16		X						8	2039	3,9
17			X					7	2042	6,9
Nulo								6	2040,9	5,8

Tabela A11. Seleção de modelos para avaliar a influência do grupo funcional, tipo de plantio e tipo de adubo aplicado, na temperatura foliar. G.F. = grupo funcional, Ad = adubação, Pl= plantio, gl= graus de liberdade, AIC= critério de informação de Aikake. Em negrito, os modelos selecionados ($\Delta AIC \leq 2$).

Modelos #	Termos incluídos							Critérios de seleção		
	G.F.	Ad	Pl	G.F. X Ad	G.F. X Pl	Ad X Pl	G.F. X Ad X Pl	gl	AIC	ΔAIC
Saturado	X	X	X	X	X	X	X	15	5711,7	10,6
1	X	X	X	X	X	X		13	5708,4	7,2
2	X	X	X	X	X			11	5707,7	6,6
3	X	X	X	X		X		12	5712	10,8
4	X	X	X		X	X		11	5705,5	4,4
5	X	X	X	X				10	5711,3	10,1
6	X	X	X		X			9	5704,9	3,8
7	X	X	X			X		10	5709,2	8
8	X	X	X					8	5708,5	7,4
9	X	X		X				9	5730,1	28,9
10	X		X		X			7	5701,2	0
11		X	X			X		9	5716,5	15,4
12	X	X						7	5727,4	26,2
13	X		X					6	5704,7	3,6
14		X	X					7	5715,8	14,7
15	X							5	5723,7	22,5
16		X						6	5734,1	32,9
17			X					5	5712	10,9
Nulo								4	5730,4	29,3

Tabela A12. Seleção de modelos para avaliar a influência do grupo funcional, tipo de plantio e do local medido (sob ou entre plantios), na temperatura do solo. G.F. = grupo funcional, PI= plantio, Loc= local medido, gl= graus de liberdade, AIC= critério de informação de Akaike. Em negrito, os modelos selecionados ($\Delta AIC \leq 2$).

Modelos #	Termos incluídos							Critérios de seleção		
	G.F.	PI	Loc	G.F. X PI	G.F. X Loc	PI X Loc	G.F. X PI X Loc	gl	AIC	ΔAIC
Saturado	X	X	X	X	X	X	X	13	2455,6	5,3
1	X	X	X	X	X	X		12	2453,8	3,4
2	X	X	X	X	X			11	2475,2	24,9
3	X	X	X	X		X		11	2453,1	2,7
4	X	X	X		X	X		11	2452,2	1,8
5	X	X	X	X				10	2474,6	24,2
6	X	X	X		X			10	2473,7	23,3
7	X	X	X			X		10	2451,6	1,2
8	X	X	X					9	2473	22,6
9	X	X		X				9	2649,3	198,9
10	X		X		X			9	2482,1	31,8
11		X	X			X		9	2450,4	0
12	X	X						8	2647,8	197,4
13	X		X					8	2481,5	31,1
14		X	X					8	2471,8	21,5
15	X							7	2656,2	205,8
16		X						7	2646,6	196,2
17			X					7	2480,4	30
Nulo								6	2655,2	204,8

Tabela A13. Efeitos aleatórios selecionados para as variáveis respostas analisadas. D. P. = Desvio Padrão.

Fv/Fm - Efeitos aleatórios selecionados			
	Relação	Variância	D. P.
Bloco	(intercepto)	0,000	0,014
Espécie	(intercepto)	0,000	0,015
Data de Coleta	(intercepto)	0,000	0,013
Data de Coleta	Núcleo	0,000	0,012
Resíduos		0,003	0,054
Clorofila <i>a</i> - Efeitos aleatórios selecionados			
	Relação	Variância	D. P.
Bloco	(intercepto)	0,391	0,627
Espécie	(intercepto)	0,682	0,826
Data de Coleta	(intercepto)	1,314	1,146
Resíduos		11,458	3,385
Clorofila <i>b</i> - Efeitos aleatórios selecionados			
	Relação	Variância	D. P.
Bloco	(intercepto)	0,146	0,381
Espécie	(intercepto)	0,828	0,910
Espécie	Pioneiras	0,828	0,910
Resíduos		3,740	1,934
Clorofila total - Efeitos aleatórios selecionados			
	Relação	Variância	D. P.
Bloco	(intercepto)	0,939	0,969
Espécie	(intercepto)	2,062	1,436
Data Coleta	(intercepto)	1,155	1,075
Resíduos		25,216	50,215
Clorofila <i>a/b</i> - Efeitos aleatórios selecionados			
	Relação	Variância	D. P.
Bloco	(intercepto)	0,001	0,027
Espécie	(intercepto)	0,003	0,054
Data Coleta	(intercepto)	0,007	0,085
Resíduos		0,025	0,159
Carotenóides- Efeitos aleatórios selecionados			
	Relação	Variância	D. P.
Bloco	(intercepto)	0,019	0,136
Espécie	(intercepto)	0,066	0,257
Data de Coleta	(intercepto)	0,405	0,636
Resíduos		1,055	1,027
Clorofila total/carotenóides - Efeitos aleatórios selecionados			
	Relação	Variância	D. P.
Espécie	(intercepto)	0,034	0,183
Data de coleta	(intercepto)	1,073	1,036
Data de coleta	Núcleo	0,069	0,263
Resíduos		3,740	1,934
Temperatura foliar - Efeitos aleatórios selecionados			
	Relação	Variância	D. P.
Bloco	(intercepto)	1,738	1,318
Data de coleta	(intercepto)	17,247	4,153
Resíduos		10,855	3,295
Temperatura do solo - Efeitos aleatórios selecionados			
	Relação	Variância	D. P.
Bloco	(intercepto)	0,202	0,450
Data de Coleta	(intercepto)	18,902	4,348
Pareamento	(intercepto)	5,823	2,413
Resíduos		2,626	1,621