

Elisandra Dias

**ATRIBUTOS FUNCIONAIS PREDIZEM SOBREVIVÊNCIA E
REGENERAÇÃO ARBÓREA EM DIFERENTES MODELOS DE
RESTAURAÇÃO NA FLORESTA ESTACIONAL
SEMIDECIDUAL**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Agroecossistemas

Orientador: Prof. Dr. Ilyas Siddique, PhD

Florianópolis
2014

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Dias, Elisandra

Atributos funcionais predizem sobrevivência e regeneração arbórea em diferentes modelos de restauração na Floresta Estacional Semidecidual / Elisandra Dias ; orientador, Ilyas Siddique - Florianópolis, SC, 2014.
103 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas.

Inclui referências

1. Agroecossistemas. 2. Ecossistemas tropicais. 3. Restauração florestal. 4. Atributos funcionais. I. Siddique, Ilyas . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. III. Título.

“Atributos Funcionais Predizem Sobrevivência e Regeneração Arbórea em Diferentes Modelos de Restauração na Floresta Estacional Semidecidual”

Por

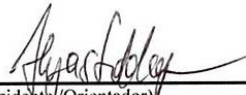
Elisandra Dias

Dissertação julgada adequada, em 23 de setembro de 2014, e aprovada em sua forma final, pelo Orientador e Membros da Banca Examinadora, para obtenção do título de Mestre em Agroecossistemas. Área de Concentração Agroecologia, no Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Centro de Ciências Agrárias/UFSC.

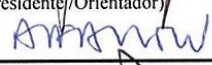


Prof. Dr. Ademir Antonio Cazella (Coordenador do Programa)

Banca Examinadora:



Dr. Ilyas Siddique, (Presidente/Orientador)



Dr. Alfredo Celso Fantini (Titular/PGA-UFSC)



Dr. Nivaldo Peroni (Titular Externo/ECZ-UFSC)



Drª Vera Lex Engel (Titular Externo/UNESP)

Candidata ao título:



Elisandra Dias

Florianópolis, 23 de setembro de 2014

Aos meus pais, Ana e Valdomiro, dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Especialmente, agradeço ao meu companheiro, Paulo Alfonso Peiker, por seu amor e dedicação, pela relação linda de companheirismo que estamos construindo, por sua participação ativa na realização deste trabalho, por acreditar em mim e me incentivar em cada etapa. Meu amor e eterna gratidão por fazer meus dias, mesmo os mais difíceis, felizes.

Agradeço a minha família que amo tanto: meus pais Ana Fca. da Conceição Dias, Valdomiro Gonçalves Dias e minhas irmãs Alessandra Dias Laine e Edilaine Dias que, mesmo sem saberem exatamente o que eu estava fazendo (e me perguntarem milhares de vezes), apoiaram-me de todas as formas possíveis. Agradeço ainda a meu cunhado Claude R. Laine e meus sobrinhos Anna Clara D. Laine e Olivier Laine, por trazerem mais amor e carinho à minha vida. Sem seu amor e carinho jamais teria ido a lugar algum.

Meu eterno carinho e imensa gratidão ao professor Ilyas Siddique, por viver comigo um sonho, por sua imensa dedicação, paciência e generosidade para compartilhar conhecimento e, principalmente, por seu exemplo de amor e respeito à ciência. Esse trabalho só foi possível graças a sua dedicação.

Sou, também, imensamente grata à Prof. Dr^a. Vera Lex Engel, pela confiança e pelos valiosos e inspiradores ensinamentos durante toda minha vida acadêmica. Esse agradecimento se estende ao Dr. John Parrotta, pela presença constante em minha formação através de sua pesquisa.

Agradeço à TRY - iniciativa em atributos de plantas (<http://www.try-db.org>) - a qual contribuí com os dados de atributos funcionais arbóreos por meio de projeto aprovado por seu conselho. A iniciativa e banco de dados TRY é organizada, desenvolvida e mantida por J. Kattge e G. Bönsch (*Max Planck Institute for Biogeochemistry, Jena, Germany*). TRY tem sido apoiada por DIVERSITAS, IGBP, *Global Land Project*, *UK Natural Environment Research Council (NERC)* através do seu programa QUEST (*Quantifying and Understanding the Earth System*), *French Foundation for Biodiversity Research (FRB)* e GIS "*Climat, Environnement et Société*", *France*.

Minha gratidão a todos os autores que gentilmente forneceram e autorizaram a utilização de seus dados.

Por minha permanência no programa, agradeço ao Prof. Ilyas e à Prof. Dr^a. Maria José Hötzel (Coordenação do Programa), aos advogados Clóvis Hoffmann, Francine (desculpe, esqueci seu sobrenome) e Rodrigo de Souza. Agradeço ainda a todos os companheiros de trabalho que declaradamente torceram por mim e manifestaram seu apoio.

Ao Prof. Dr. Ribas que, além de inspirar por seu conhecimento e inteligência, também o faz por seu carinho e altruísmo, oferecendo a ajuda mais desprendida e objetiva em um momento de dificuldade, meu caloroso abraço.

Ao amigo de todas as horas, Adriano Martinho de Souza, por me emprestar sua força e fé nos momentos de dúvida e tristeza, meu carinho e melhores desejos.

À querida Marlene, pela dedicação, carinho e paciência com que atendeu todas minhas solicitações. Antes dela, Janete também me orientou e auxiliou enormemente e sou grata por isso.

Aos amigos de jornada, por tornarem esse período mais agradável. Principalmente, agradeço às amigas queridas Grazianne, que compartilhou comigo os dilemas da profissão e me auxiliou com os quebra-cabeças da pesquisa, e Onete, que mudou completamente minha vida. Espero levá-los comigo por toda a vida.

Aos amigos de longe e de sempre.

Agradeço, ainda, a todos aqueles que, de alguma maneira, contribuíram para a realização deste trabalho, inclusive todos os pesquisadores e estudantes que participaram, em algum momento, do projeto Restauração da Mata Atlântica da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Universidade Federal de Santa Catarina e *USDA Forest Service*.

À CAPES, pelo apoio financeiro sem o qual este trabalho não seria possível.

Retirai o número de todas as coisas, e todas as coisas perecerão. Retirai o cálculo do mundo, e tudo ficará envolto em tenebrosa ignorância, [...].
(Santo Isidoro de Sevilha, c.600)

Pois que muitas partes da natureza não podem ser inventadas com sutileza suficiente, nem demonstradas com suficiente perspicuidade, nem adaptadas ao uso com suficiente destreza, sem a ajuda e a intervenção da matemática [...].
(Francis Bacon, 1605)

Digo com frequência que, quando podemos medir aquilo de que falamos e expressá-lo em números, sabemos algo a seu respeito; mas, quando não podemos medi-lo, quando não podemos expressá-lo em números, nosso conhecimento é de natureza escassa e insatisfatória.
(William Thompson, Lord Kelvin, 1891)

RESUMO

A restauração de florestas tropicais e dos seus serviços ecossistêmicos produtivos e ecológicos é, hoje, limitada pelo alto custo, devido, em parte, à sobrevivência altamente variável das árvores plantadas. É urgente entender quais estresses climáticos, edáficos e bióticos (filtros ambientais) causam essa mortalidade e quais as limitações ecofisiológicas das espécies. A grande biodiversidade das florestas tropicais possibilita a avaliação experimental de uma pequena fração das espécies relevantes. Dessa forma, é preciso entender quais características ecofisiológicas representativas das espécies e de fácil mensuração (atributos funcionais) podem prever a sobrevivência e regeneração de espécies não plantadas, com características funcionais similares. Para avaliar a resposta de árvores aos filtros ambientais, testamos o quanto os atributos funcionais preveem sua sobrevivência e se esta depende da composição funcional de consórcios de espécies plantadas. Compilamos dados de sobrevivência 11 anos após o plantio, em quatro consórcios funcionalmente contrastantes (Semeadura Direta de cinco pioneiras; Sistema Agroflorestal de 23 espécies e consórcios de 25 e 42 espécies para produção de Madeira+Lenha e Conservação, respectivamente). Cada consórcio (parcelas de 50x50m) é repetido em três blocos completos casualizados em uma de duas microregiões contrastantes no município de Botucatu/SP. Dados empíricos de 18 atributos funcionais representativos das mesmas espécies plantadas foram compilados do banco de dados TRY e da literatura. Os resíduos da resposta (sobrevivência) apresentaram pronunciada não-Normalidade. Isso requereu o uso de teste Monte Carlo que, por permutações, analisa a probabilidade de resultados serem obtidos ao acaso, sem depender de pressupostos distribucionais. Os atributos que predisseram sobrevivência das árvores plantadas foram concentração de nitrogênio foliar, densidade básica do tronco, capacidade de fixação de nitrogênio, fenologia vegetativa, folhas compostas, densidade do caule, massa da semente, área foliar específica e fósforo foliar. Esperamos que esses resultados contribuam para o aprimoramento de diretrizes genéricas para a escolha de espécies arbóreas com provável sobrevivência em plantios, baseadas nas características funcionais específicas conhecidas para centenas de espécies promissoras para a restauração e produção em florestas tropicais estacionais.

Palavras-chave: reabilitação florestal; diversidade funcional; filtros ambientais; resiliência de ecossistemas tropicais; policultivos arbóreos; plantios mistos.

ABSTRACT

Currently, the restoration of tropical forests and of their provisioning and regulating ecosystem services are limited by high costs, partly due to highly variable survival of the planted trees. We urgently need to understand which climatic, edaphic or biotic stresses (environmental filters) cause such tree mortality and natural regeneration. However, the great forest biodiversity permits an experimental evaluation of only a small fraction of relevant species. Therefore it is necessary to understand which easily measurable ecophysiological characteristics representative of the species (functional traits) have potential to predict the survival and regeneration of other species with similar functional traits that cannot be experimentally planted. Aiming to evaluate the response of the trees to environmental filters, we tested how well functional traits predict tree survival and if this depends on the functional composition of species mixtures. We compiled data of tree survival between 2 and 11 years after planting in four functionally contrasting forest restoration treatments (Direct Seeding of five pioneers; Agroforest of 23 species; and mixtures of 25 and 42 species for Timber+Fuel production and Conservation, respectively). Each treatment (50x50m plots) was replicated in three randomized complete blocks in each of two edaphoclimatic regions in Botucatu municipality, state of São Paulo, Brazil. Independently, empirical data of 18 functional traits representative of the same planted species were compiled from the collaborative TRY Global Plant Functional Trait Database and from the scientific and technical literature. The residuals of the response (survival) showed strong non-Normality, which required the use of Monte Carlo tests that analyze the probability of obtaining the results at random, based on permutations, without depending on distributional assumptions. The following functional traits predict the survival of planted trees: stem density, nitrogen fixation capacity, vegetative phenology, leaf compoundness, seed mass, specific leaf area and leaf nitrogen and phosphorus concentration. We hope these results will contribute to the improvement of generic selection criteria of tree species with high survival probability, based on specific functional traits known for hundreds of promising species for the restoration and production in seasonal tropical forests.

Keywords: forest rehabilitation, functional diversity, environmental filters; tropical ecosystem resilience; tree polycultures; mixed-species plantations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perfil esquemático das formações florestais de ocorrência na Floresta Tropical Estacional Semidecidual em função da variação de altitude	31
Figura 2 – Fitofisionomia típica da Floresta Tropical Estacional Semidecidual	31
Figura 3 – Localização e distribuição das áreas do experimento	32
Figura 4 – Quantidade de espécies para as quais obtivemos observações de atributos funcionais fornecidos pela TRY, agrupados por similaridade de órgão ou estrutura: verde: atributos foliares; vermelho: planta inteira; laranja: resposta e/ou tolerância aos distúrbios; roxo: raízes e caules; e azul: sementes. O limite para a inclusão na análise foi a ocorrência para, ao menos, sete espécies.....	40
Figura 5 – Sobrevivência e regeneração (variação percentual de indivíduos) por espécie (nomes científicos abreviados) nos quatro diferentes consórcios de espécies (AF- agroflorestal, CO – conservação, DS – semeadura direta e TF – madeira e lenha).....	60
Figura 6 –Sobrevivência e regeneração natural (variação percentual de indivíduos) em função (1) da capacidade de fixação de nitrogênio (<i>yes</i> ou <i>no</i>) e (2) da densidade específica da madeira (g/cm^3) nos tratamentos Semeadura Direta (DS); Agroflorestal (AF); Madeira+Lenha (TF) e Conservação (CO)....	62
Figura 7 –Sobrevivência e regeneração natural (variação percentual de indivíduos) em função (1) da fenologia vegetativa (deciduidade) e (2) da massa da semente em gramas, nos tratamentos Semeadura Direta (DS); Agroflorestal (AF); Madeira+Lenha (TF) e Conservação (CO).	64
Figura 8 –Sobrevivência e regeneração natural (variação percentual de indivíduos) em função (1) da área foliar específica ($\text{mm}^2 \text{mg}^{-1}$) e (2) da ocorrência, ou não, de folhas compostas, nos tratamentos Semeadura Direta (DS); Agroflorestal (AF); Madeira+Lenhas (TF) e Conservação (CO)	67
Figura 9 – Sobrevivência e regeneração natural (variação percentual de indivíduos) em função (1) da Concentração de fósforo foliar (mg g^{-1}) e (2) do conteúdo de matéria seca foliar (g g^{-1}), nos tratamentos Semeadura Direta (DS); Agroflorestal (AF); Madeira+Lenhas (TF) e Conservação (CO).....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Definições propostas para classificação de atributos funcionais.....	25
Tabela 2- Espécies plantadas através de mudas ou sementes em Botucatu/SP, grupos ecológicos e os tratamentos nos quais elas ocorrem (DS – Semeadura Direta; AF – Sistema Agroflorestal; TF – Madeira + lenha e CO – Conservação)	35
Tabela 3 - Informações sobre os tratamentos, métodos de plantio e quantidade de espécies em cada consórcio.....	38
Tabela 4 - Descrição dos atributos funcionais testados.....	41
Tabela 5 - Atributos funcionais solicitados à TRY através de projeto aprovado e número de espécies para as quais foram disponibilizadas observações desses atributos	43
Tabela 6 – Atributos funcionais testados e espécies para as quais eles ocorrem.	46
Tabela 7 – Resultados das análises de variância para todos os atributos funcionais para os quais estavam disponíveis dados de pelo menos sete espécies. Valores abaixo de P, *, **, *** denotam diferenças significativas ao nível de 0.05, 0.01, 0.001, respectivamente	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AF – *Agroforestry* (Sistema agroflorestal)
CO – *Conservation* (Conservação)
DS – *Direct Seeding* (Semeadura direta)
T+F – *Timber+Fuel* (Madeira e lenha)
Nfoliar – Nitrogênio foliar
Dbas – Densidade básica
Sd.Stor – *Seed Storage* (Armazenamento de semente)
N2fix – Capacidade de fixação de nitrogênio
Phen.Veg – *Phenology Vegetative* (Fenologia vegetativa)
Lf.comp – *Leaf compoundness* (Folhas compostas)
SSD – *Stemspecific Density* (densidade específica do caule)
Pl.height – *Plant height* (altura máxima vegetativa)
Sd.mass – *Seed mass* (massa de semente)
Larea – *Leaf area* (Área foliar)
SLA – *Specific Leaf Area* (Área foliar específica)
Lf.lifespan – *Leaf lifespan* (Vida útil foliar ou longevidade foliar)
Pfoliar – *Leaf phosphorus per dry mass* (Fósforo foliar por massa seca)
Disp.synd – *Dispersal syndrom* (Síndrome de dispersão)
LDMC–*Leaf Dry Matter Content* (Conteúdo de matéria foliar seca)
N:P –Proporção Nitrogênio/fósforo foliar
Parea - *Leaf phosphorus per area*(Fósforo foliar por área)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	23
2 HIPÓTESE	29
2.1 HIPÓTESE PRINCIPAL.....	29
2.2 HIPÓTESES SECUNDÁRIAS.....	29
3 MÉTODOS	31
3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	31
3.2 SELEÇÃO DE ESPÉCIES.....	32
3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	33
3.3.1 Dados de sobrevivência e regeneração natural das espécies plantadas ou semeadas	33
3.3.2 Dados de atributos funcionais	34
3.3.3 Processamento dos dados brutos	54
3.3.4 Análise estatística	54
3.4 REVISÃO DE LITERATURA.....	56
4 RESULTADOS	59
4.1 SOBREVIVÊNCIA E VARIAÇÃO DO NÚMERO DE INDIVÍDUOS.....	59
4.2 ATRIBUTOS FUNCIONAIS.....	59
4.2.1 Capacidade de fixação de nitrogênio	61
4.2.2 Densidade específica da madeira	61
4.2.3 Fenologia vegetativa	63
4.2.4 Massa da semente	63
4.2.5 Área foliar específica	65
4.2.6 Folhas compostas	66
4.2.7 Fósforo foliar	66
4.2.8 Matéria seca foliar (LDMC)	68
5 DISCUSSÃO	75
5.1 LIMITAÇÕES METODOLÓGICAS.....	75
5.2 FILTROS AMBIENTAIS.....	76
5.2.1 Atributos funcionais	76
5.2.1.1 <i>Atributos funcionais que apresentaram capacidade preditora de sobrevivência e regeneração natural</i>	76
5.2.1.1.1 Capacidade de fixação de nitrogênio.....	76
5.2.1.1.2 Densidade específica da madeira.....	77
5.2.1.1.3 Fenologia vegetativa.....	78
5.2.1.1.4 Massa da semente.....	79
5.2.1.1.5 Área foliar específica.....	80
5.2.1.1.6 Folhas compostas.....	81
5.2.1.1.7 Fósforo foliar.....	81
5.2.1.1.8 Conteúdo de matéria foliar seca.....	82
5.2.1.2 <i>Atributos funcionais que não apresentaram capacidade preditora de sobrevivência e regeneração natural</i>	82
5.2.1.2.1 Altura da planta.....	82
5.2.1.2.2 Vida útil foliar.....	83

5.2.1.2.3 Nitrogênio foliar	84
5.3 IMPLICAÇÕES PARA O MANEJO E RESTAURAÇÃO FLORESTAL.	84
6 CONCLUSÕES	87
REFERÊNCIAS	89
APÊNDICES	97
APÊNDICE A: Autores responsáveis pela medição dos atributos funcionais analisados nesse estudo. Alguns desses dados foram contribuídos pela Plant Trait Database TRY (Kattge et al., 2011) e outros foram compilados diretamente da literatura científica	98
APÊNDICE B: Número de espécies com dados de atributos funcionais e selecionados a partir do critério de seleção mínimo de sete espécies	100
APÊNDICE C: <i>Akaike Information Criterion</i> (AIC) dos modelos alternativos referentes a cada atributo funcional com dados disponíveis de pelo menos sete espécies: Modelo nulo (identidade das espécies como preditor) versus modelo alternativo com o atributo funcional como preditor (com ou sem interação o tratamento de consórcio de restauração). Para os modelos em que o tratamento não foi significativo, essa categoria foi retirada do modelo como preditor e feita uma nova análise.	102

1 INTRODUÇÃO

Extensas áreas de florestas nos trópicos são anualmente convertidas para uso agropecuário. O resultado são florestas remanescentes, com drástica perda de diversidade biológica em função da sua área diminuta e isolamento, ao mesmo tempo em que outras grandes extensões de terras desmatadas são abandonadas e convertidas em áreas de sucessão vegetal. (TURNER; CORLETT, 1996 e MARTINEZ-GARZA et al., 2005). Há evidência de que a perda de espécies acelerará a mudança de processos-chave importantes para a sustentabilidade dos ecossistemas. Ressalta-se que a identidade das espécies perdidas também desempenha grande efeito sobre essas alterações (HOOPER et al., 2012).

Para acelerar a sucessão natural e o desenvolvimento de uma comunidade vegetal em áreas desmatadas são realizados plantios mistos de espécies arbóreas nativas (HALL et al., 2011). Entretanto, mesmo essa intervenção nem sempre é capaz de garantir o estabelecimento de uma floresta viável, pois no processo de sucessão vegetal, variações ambientais atuam como filtros (McGILL et al., 2006), drenando do sistema espécies que não apresentam aparato funcional para persistirem no local.

Reflorestamentos convencionais nos trópicos, muitas vezes, resultam em povoamentos com baixa diversidade de espécies arbóreas e funcionais. (SALES-COME; HOLSCHER, 2010). Cada vez mais, a meta para projetos de restauração é criar ecossistemas funcionais estáveis (THORPE; STANLEY, 2011), mas no intuito de melhor se recuperar florestas nos trópicos e sub-trópicos é preciso entender o que elas são, como funcionam, como evoluem no tempo e como elas se regeneram, para não se correr o risco de desperdício de tempo, esforços e recursos que não garantirão o ressurgimento da floresta desejada (RODRIGUES et al., 2009).

A escolha de espécies baseada em grupos sucessionais é a estratégia atualmente mais difundida de restauração. A taxa de regeneração da floresta depende, em grande parte, do crescimento e sobrevivência de espécies nativas que são plantadas ou chegam por conta própria (MARTINEZ-GARZA, 2005). Idealmente, espécies selecionadas para plantações combinam rápido crescimento com alta sobrevivência (MARTINEZ-GARZA; BONGERS; POORTER, 2013).

A definição clássica de espécie, a espécie biológica, reconhece como tal organismos que podem se acasalar na natureza e produzir prole fértil. Entretanto, em termos ecológicos, pode ser definida como o

resultado da especiação induzida por seleção natural divergente em subpopulações distintas (SCHLUTER, 2001). Ainda pode-se dizer que espécie é um conjunto de indivíduos com características fenotípicas e comportamentais que determinam quando e onde eles podem existir e como eles interagem com os indivíduos de outras espécies (McGILL et al., 2006). Isso implica que cada espécie tem um conjunto de atributos que lhe confere a capacidade de coexistir com as demais sob determinadas condições ambientais.

Os grupos de espécies que compartilham funcionamento similar no organismo, respostas similares aos filtros ambientais e/ou papéis similares nos (ou efeitos sobre) ecossistemas ou biomas, podem ser definidos como tipos funcionais de plantas (CORNELISSEN et al., 2003). Essas similaridades seriam baseadas no fato desses grupos tenderem a compartilhar entre si uma série de características funcionais chave, o que faz com que sejam úteis ao funcionamento de comunidades e ecossistemas, pois variam mais entre diferentes espécies do que entre membros do mesmo grupo (McGILL et al., 2006).

Atributos funcionais são quaisquer características morfológicas, fisiológicas ou fenológicas mensuráveis no nível individual (VIOLE et al., 2007) e que apresentam relação com a fisiologia do vegetal. Outra definição, encontrada em McGill et al. (2006), diz que atributo funcional é uma propriedade bem definida e mensurável de organismos, geralmente medido em nível individual, usado comparativamente entre as espécies e que influencia fortemente o desempenho do organismo.

Esse efeito comparativo entre espécies impulsiona pesquisas em diferentes áreas da ecologia que relacionam atributos funcionais de plantas com efeitos e respostas em nível ecossistêmico (KATTGE et al., 2011). Conceitualmente, características funcionais podem ser divididas entre atributos funcionais, atributos de performance, efeito e resposta em função da relação de causa ou reação que mantêm com o ambiente (DÍAZ; CABIDO, 2001), conforme Tabela 1.

Portanto, atributo funcional é uma característica mensurável de um indivíduo e que potencialmente afeta seu desempenho ou sua adaptabilidade ao ambiente e pode ser de natureza estrutural (padrão de ramificação), bioquímica (rota fotossintética), comportamental ou temporal (tempo de floração) (CADOTTE; CARSCADDEN; MIROTCNICK, 2011), ou seja, tem potencial de fornecer informações ecofisiológicas. Esse enfoque ajuda a explicar os mecanismos de adaptação dos ecossistemas em face da perda de biodiversidade e alterações ambientais em escala global.

Tabela 1: Definições propostas para classificação de atributos funcionais. Adaptado de Violle et al. (2007) e Díaz e Cabido (2011).

	O que descreve?	Exemplos	Nível de definição	Nível de aplicação
Atributo funcional	(1) Processos fisiológicos	Fotossíntese, respiração	Individual	Individual
	(2) História de vida	Germinação, crescimento, reprodução	Individual	Individual/ População
	(3) Aptidão individual	Observação de aptidão relativa	Individual	Individual
	(4) Medidas de desempenho	Observação de desempenho relativo	Individual	Individual
Atributo de performance	Componentes de aptidão	Crescimento reprodutivo, sobrevivência	Individual	Individual
Atributo de resposta	Resposta da planta às mudanças ambientais	Taxa de crescimento relativa da muda, idade de maturidade	Individual	Individual
Atributo de efeito	Efeito da planta no funcionamento ecossistêmico	Qualquer atributo que reflita o efeito da planta nas condições ambientais	Individual	Ecossistema

Características funcionais de plantas são muitas vezes utilizadas para determinar se as espécies têm diferentes estratégias ecológicas para a reprodução e captura de recursos (McGILL, et al., 2006). É frequentemente assumido que um limitado número de características funcionais pode ser suficiente para descrever o desempenho e distribuição de espécies através de gradientes ambientais (DÍAZ et al., 2007; McGILL et al., 2006).

É possível traçar relações entre atributos funcionais e dinâmica de ecossistemas, porque alterações relevantes na biodiversidade se manifestam através de mudanças na diversidade funcional de plantas e alterações em um determinado ecossistema também provocam alterações das características funcionais da planta (DÍAZ et al., 2007). Atributos funcionais analisados em conjunto com gradientes ambientais e meios de interação resultariam em pesquisas mais quantitativas e preditivas, o que é raro e desejável em pesquisas de restauração e produção florestal (McGILL et al., 2006).

As especificidades ambientais de cada local possuem fundamental importância e podem impedir ou limitar o estabelecimento e a perpetuação do ecossistema restaurado. Isso porque no conjunto de espécies de uma comunidade, a filtragem ambiental faz diferença e garante que apenas as espécies mais adaptadas às condições locais sejam abundantes, (LEBRIJA-TREJOS et al., 2010). Esses filtros ambientais resultam em uma comunidade de espécies que compartilham uma história evolutiva mais semelhante entre si do que poderia ser esperado pelo acaso (agrupamento filogenético), segundo Whitfeld et al. (2012).

Se os filtros ambientais e as características das espécies são relevantes para determinar a composição da comunidade, então as comunidades devem ter combinações particulares de características sob diferentes condições ambientais. Isso porque a estrutura da comunidade configurou o ambiente local e os fortes relacionamentos existentes entre o ambiente e as características das espécies de maior sucesso das comunidades em regeneração (LEBRIJA-TREJOS et al., 2010). Para os autores, prever o processo de construção de comunidades em que os filtros bióticos e abióticos condicionam o estabelecimento das espécies através da seleção em suas características funcionais é difícil, pois poucos estudos incorporam diretamente medições ambientais e as ampliam a partir de espécies na comunidade. Além disso, os significados dos atributos funcionais são intimamente dependentes do ambiente.

Abordagens baseadas em atributos funcionais têm sido utilizadas para demonstrar a importância da filtragem ambiental na estruturação

ecológica de comunidades diversas (KRAFT; VALENCIA; ACKERLY, 2008). Por um lado, de acordo com Liu et al. (2013), em estudo com dispersão de atributos funcionais em florestas subtropicais, se pouca variação é explicada pelo componente ambiental, pode-se inferir que os padrões de agrupamento dos atributos não estão associados à filtragem pelas variáveis abióticas. Por outro lado, não há consenso de que a convergência de atributos seja o fator principal para explicar a estrutura da comunidade florestal.

Sobre a restauração atuam limitações de ordem ambiental e de estratégias de manejo. Além disso, atuam sobre o estabelecimento das espécies diferentes fatores, como mudanças no microclima do sub-bosque, o aumento da complexidade estrutural da vegetação e da diversidade de habitats e o desenvolvimento da serapilheira e das camadas de húmus que ocorrem durante os primeiros anos de crescimento (ENGEL et al., 2000). Analisando apenas a resposta de mudas florestais à adubação e à incidência de luz, Lawrence (2003) sugere que a variação na disponibilidade de nutrientes pode afetar a estrutura de florestas tropicais em regeneração para distúrbios de larga escala, porém as possíveis combinações desses fatores são tantas que se torna praticamente impossível testá-las.

No entanto, são limitadas à novidade e utilidade científica de explicar a variabilidade na sobrevivência simplesmente a partir da identidade da espécie, dado que uma mesma espécie pode ter uma sobrevivência alta em um lugar e baixa em outro. Adicionalmente, o grande número de espécies a serem restauradas nas florestas tropicais degradadas não permite uma experimentação exaustiva das espécies para poder fazer recomendações e, portanto, não permite generalizações. Por isso, do ponto de vista científico, é mais relevante interpretar os modelos alternativos com atributos funcionais como preditores, ao invés de testar identidade de poucas espécies, desde que se tenha um número adequado de espécies com dados disponíveis de atributos funcionais.

Em estudo com plantio de espécies florestais foram testados atributos funcionais para definir se esses seriam bons preditores de crescimento e sobrevivência de espécies arbóreas (MARTINEZ-GARZA; BONGERS; POORTER, 2013). Os autores concluíram que alguns atributos são positivamente relacionados e outros influenciam negativamente o desempenho florestal.

Com o objetivo de avaliar os efeitos, a correlação entre atributos funcionais e a capacidade de prever o desempenho de árvores em áreas degradadas, integramos dados de um experimento de restauração florestal (ENGEL; PARROTTA, 2001) a princípios de ecologia

funcional, através de dados vegetais obtidos da *Plant Database Trait* (KATTGE et al., 2011). Além disso, testamos quais atributos são capazes de prever a sobrevivência e a regeneração natural.

2 HIPÓTESES

2.1 HIPÓTESE PRINCIPAL

Para a Floresta Estacional Semidecidual, a sobrevivência e a regeneração natural de espécies florestais em plantios mistos de restauração e produção florestal são preditas por atributos funcionais dessas espécies.

2.2 HIPÓTESES SECUNDÁRIAS

A sobrevivência e a regeneração natural de espécies florestais em plantios mistos de restauração e produção florestal pode ser predita pelas características ambientais locais e fatores de manejo (filtros ambientais), na floresta estacional semidecidual.

Os atributos funcionais são melhores preditores de sobrevivência arbórea e regeneração natural em plantios mistos na floresta estacional semidecidual que a identidade de espécies.

3 MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi realizado nas Fazendas Experimentais Lageado e Edgárdia, pertencentes ao campus da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, FCA – UNESP, no município de Botucatu, que está localizado na região centro-sul do Estado de São Paulo, Brasil (22°50'S e 48°24'W). A precipitação média anual é 1300 mm, distribuída principalmente entre os meses de outubro e março. A temperatura média anual é de 19,4°C, variando de 21,9°C (janeiro) a 16,3°C (julho) (NOGUEIRA Jr., 2010; RÉ, 2011). A vegetação é classificada como Floresta Tropical Estacional Semidecidual, cujo perfil em função da variação de altitude é representando na Figura 1 (IBGE, 2012) e cuja fisionomia está na Figura 2.

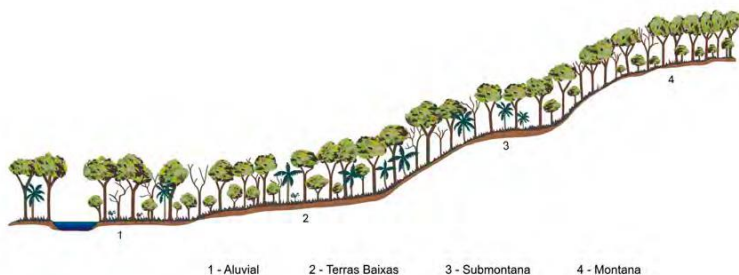


Figura 1: Perfil esquemático das formações florestais de ocorrência na Floresta Tropical Estacional Semidecidual em função da variação de altitude. Fonte: IBGE (2012).

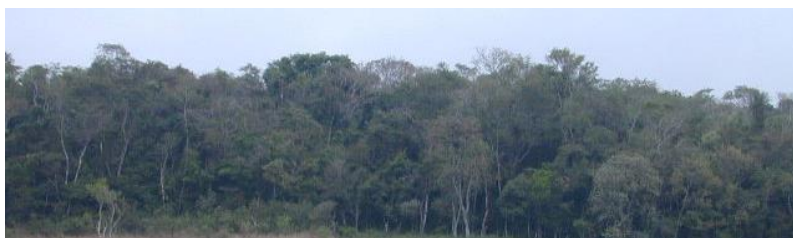


Figura 2: Fitofisionomia típica da Floresta Tropical Estacional Semidecidual. Fonte: A. G. Nave.

O mesmo delineamento experimental foi repetido em duas regiões edáficas do município de Botucatu: Área 1 – Fazenda Lageado, localizada a 700m de altitude, em área ocupada por um Nitossolo

Vermelho, textura argilosa e relevo ondulado; e Área 2 – Fazenda Edgárdia, localizada a 574m de altitude, em área ocupada por um Argissolo Vermelho-Amarelo, textura arenosa, relevo suave ondulado a ondulado. A Área 1 é mais fértil que a Área 2 e possui boas propriedades físicas, mas tende à compactação (ENGEL et al., 2001).

Na Área 1, fragmentos de floresta ripária estão localizados a aproximadamente 200 m do experimento, encosta abaixo, em direção a um curso d'água, enquanto na Área 2, o experimento foi localizado a aproximadamente 50 m de um remanescente florestal em bom estado de conservação (ENGEL et al., 2001).

Ambas as áreas apresentavam uso agropecuário antes de 1997, ano de implantação do experimento. Na Fazenda Lageado, a vegetação predominante era pastagem abandonada, com predomínio de gramíneas muito altas (*Pennisetum purpureum* Schumach.) e herbáceas de pastagem. Na Fazenda Edgárdia, a vegetação predominante também era de pastagem e uma parte de pomar de citrus, mas com predomínio da espécie *Brachiaria decubens* Stapf (ENGEL et al., 2001).

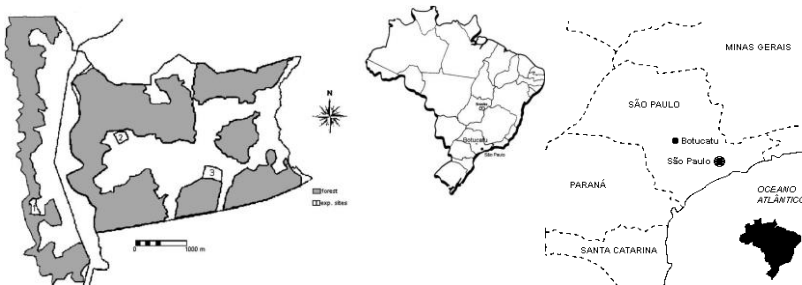


Figura 3: Localização e distribuição das áreas do experimento. Fonte: Engel et al, 2001.

3.2 SELEÇÃO DE ESPÉCIES

Foram plantadas ou semeadas 51 espécies de 23 famílias. As espécies e os consórcios entre elas variaram de acordo com o tratamento, conforme Tabela 2. Os tratamentos são (NOGUEIRA Jr, 2010; RÉ, 2011):

T2. Semeadura direta (*Direct Seeding* - DS): semeadura manual direta de 5 espécies heliófilas de rápido crescimento, em linhas. As espécies utilizadas foram: *Mimosa scabrella* Benth (6 sementes por cova); *Croton floribundus* Spreng (10 sementes por cova); *Schizolobium parahyba* (Vell.); S.F.Blake (2 sementes de cova), *Ceiba speciosa* (A.St.-Hil.); Ravenna (5 sementes por cova); *Enterolobium*

contortisiliquum (Vell.); e *Schinus terebinthifolia* Raddi (4 sementes por cova), em espaçamento de 1x1m.

T3. Sistema *Taungya* modificado (*Agroforestry* - AF): plantio de árvores em linhas triplas, com a linha central formada por espécies de crescimento lento e as laterais com espécies de rápido crescimento, conforme Apêndice A, intercaladas com faixas de 5m, onde foram cultivadas culturas anuais até o fechamento do dossel (cerca de cinco anos). O espaçamento entre as plantas nas linhas triplas é de 1,5m e entre linhas de 2m.

T4. Madeira e lenha (*Timber+Fuel* - TF): plantio misto de espécies nativas de rápido crescimento com espécies madeiráveis, conforme Apêndice A.

T5. Alta diversidade (*Conservation* - CO): plantio em alta diversidade com espécies nativas de diferentes grupos ecológicos, conforme Apêndice A.

Conceitualmente, para o estudo realizado, o tratamento é, na verdade, uma mistura de seleção de espécies com os consórcios, pois estatisticamente o ideal seria que todas as espécies ocorressem em todos os tratamentos, mas isso não seria interessante para testar quais as melhores estratégias de restauração.

3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

3.3.1 Dados de sobrevivência e regeneração natural das espécies plantadas ou semeadas

O delineamento experimental é de blocos completos casualizados, com cinco tratamentos e três repetições em cada uma das duas áreas de estudo. As parcelas têm área de 0,25 ha, perfazendo uma área total de 3,75 ha por sítio para cada um dos tratamentos (Semeadura Direta (DS), Sistema Agroflorestal *Taungya* modificado (AF), Consórcio para madeira e lenha (TF) e Alta diversidade para conservação da biodiversidade (CO)). Além do controle, que não foi utilizado. Como resultado, o delineamento experimental possui apenas quatro tratamentos.

Todos os indivíduos que se estabeleceram após o replantio foram identificados e medidos em dois censos realizados nos anos de 2000 e 2009, com período de crescimento variando entre 11.6 e 10.7 anos (139.2 e 128.4 meses, respectivamente), para monitoramento dos percentuais de sobrevivência e levantamento dos indivíduos regenerados naturalmente. As espécies que regeneraram naturalmente, mas que não

foram plantadas na área foram desconsideradas. As espécies plantadas ou semeadas e os tratamentos em que elas ocorrem estão na Tabela 2 e as informações sobre os tratamentos encontram-se na Tabela 3.

3.3.2 Dados de atributos funcionais

Para todas as espécies plantadas, semeadas e para aquelas naturalmente regeneradas das mesmas espécies plantadas, solicitamos aos gestores de uma base de dados internacional denominada *Plant Trait Database* (TRY) dados de atributos funcionais fisiologicamente relacionados à sobrevivência de árvores tropicais. Os dados de atributos funcionais foram obtidos após a apresentação do projeto de pesquisa e estão na Tabela 5, na qual incluem-se os dados complementados pela literatura.

Após a aprovação do projeto, entramos em contato com cada um dos autores no intuito de confirmar sua anuência para a utilização dos dados na pesquisa. Os atributos com dados fornecidos pela TRY encontram-se na Figura 4 e a quantidade de atributos por espécie encontra-se na Tabela 5. Os autores e seus respectivos dados estão descritos no Apêndice 1.

No que diz respeito aos atributos funcionais - densidade básica da madeira, altura vegetativa (altura total ou máxima) e folhas compostas - foram compilados, para as espécies que não tinham dados na TRY, os dados disponíveis em Carvalho (2003-2010), Lorenzi (2002; 2002) e Siddique et al. (2008). A pesquisa foi realizada apenas com os atributos funcionais que ocorreram para, no mínimo, sete espécies e que apresentaram ao menos dois valores ou, em caso de variáveis categóricas, ao menos dois resultados distintos. A escolha de sete espécies foi uma decisão arbitrária, com base na quantidade de dados disponíveis e com o objetivo de introduzir o maior número de espécies possível na análise. Por esses critérios, excluímos 14 atributos funcionais e analisamos 18 (aproximadamente 56% dos dados utilizados).

Tabela 2: Espécies plantadas através de mudas ou sementes em Botucatu/SP, grupos ecológicos e os tratamentos nos quais elas ocorrem (DS – Semeadura Direta; AF – Sistema Agroflorestal; TF – Madeira + lenha e CO – Conservação). Fonte: Engel (informação pessoal).

Nome popular	Espécie	*Grupo ecológico (Homem, 2011)	DS	AF	TF	CO
açoita-cavalo	<i>Luehea divaricata</i>	B				x
amendoim-bravo	<i>Pterogyne nitens</i>	B		x	x	x
angico-branco	<i>Adenanthera macrocarpa</i>	B		x	x	
angico-vermelho	<i>Parapiptadenia rigida</i>	C			x	x
araribá	<i>Centrolobium tomentosum</i>	C				x
aroeira-pimenteira	<i>Schinus terebinthifolius</i>	A				x
baba-de-boi	<i>Cordia superba</i>	D				x
bracatinga	<i>Mimosa scabrella</i>	A	x	x	x	
cabreúva	<i>Myroxylum balsamum</i>	C			x	
canafístula	<i>Peltophorum dubium</i>	B		x	x	
capixingui	<i>Croton floribundus</i>	A	x			x
cedro	<i>Cedrela fissilis</i>	C		x	x	x
cedro-rosa	<i>Cedrela odorata</i>	C		x	x	x
chupa-ferro	<i>Esenbeckia febrifuga</i>	D				x
copaíba	<i>Copaifera langsdorfii</i>	C		x	x	x

coração-de-negro	<i>Poecilanthe parviflora</i>	C				x
correiro	-		x			x
cumbaru	<i>Dipteryx alata</i>	C				x
embaúba	<i>Cecropia pachystachia</i>	A				x
figueira-branca	<i>Ficus spp.</i>	B				x
genipapo	<i>Genipa americana</i>	AB				x
grão-de-galo	<i>Allophylus edulis</i>	D				x
guapuruvu	<i>Schizolobium parahyba</i>	B	x			x
guarantã	<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	C		x	x	x
guatambú	<i>Aspidosperma ramiflorum</i>	C		x	x	x
ingá	<i>Inga uruguensis</i>	A		x		
ipê-felpudo	<i>Zeyheiria tuberculosa</i>	BC		x	x	x
ipê-roxo	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	C			x	
jacarandá-bico-de-pato	<i>Machaerium stipitatum</i>	B			x	x
jacarandá-da-bahia	<i>Dalbergia nigra</i>	C			x	
jacarandá-do-campo	<i>Machaerium acutifolium</i>	A			x	
jacarandá-paulista	<i>Machaerium villosum</i>		x	x	x	
jatobá	<i>Hymenea courbaril L. v. stilbocarpa</i>	C		x	x	x
jequitibá-branco	<i>Cariniana legalis</i>	C				x
jequitibá-vermelho	<i>Cariniana estrellensis</i>	C			x	

jerivá	<i>Siagrus romanzoffiana</i>	D				x
maria-preta	<i>Diatenopteryx sorbifolia</i>	C				x
monjoleiro	<i>Acacia polyphylla</i>	B		x	x	x
mutambo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	A		x	x	x
olho-de-cabra	<i>Ormosia arborea</i>	C				x
paineira	<i>Ceiba speciosa</i>	B	x			x
palmito	<i>Euterpe edulis</i>	D		x	x	x
pau-d'alho	<i>Gallesia integrifolia</i>	A				x
pau-jacaré	<i>Piptadenia gonoacantha</i>	A		x	x	x
pau-marfim	<i>Balfourodendron riedelianum</i>	C			x	x
pau-viola	<i>Citharexylum myrianthum</i>	AB				x
peroba-poca	<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i>	C		x		
peroba-rosa	<i>Aspidosperma polyneuron</i>	C		x	x	x
pitanga	<i>Eugenia uniflora</i>	D				x
sansão-do-campo	<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>	A		x	x	
tamanqueira	<i>Aegiphylla sellowiana</i>	A		x		x
tamboril	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	B	x	x	x	x
urucum	<i>Bixa orellana</i>	D		x		
uvaia	<i>Eugenia pyriformis</i>	D				x

*Grupo A: espécies pioneiras “*sensu strictu*”, definidas como aquelas de crescimento rápido, ciclo de vida curto (até 10-15





anos), frutificação abundante e precoce e sementes de alta longevidade.

Grupo B: espécies oportunistas de clareiras grandes ou de início de sucessão; crescimento rápido e madeira de boa qualidade para lenha; ciclo de vida de até 100 anos. Construtoras do dossel principal e sub-dossel. Sementes anemocóricas ou barocóricas.

Grupo C: espécies oportunistas de clareiras pequenas ou nômades; crescimento moderado a lento, ciclo de vida longo (acima de 100 anos). Construtoras do dossel principal da floresta e emergentes. Madeira dura, valiosa para serraria. Sementes geralmente grandes a médias, zoocóricas ou barocóricas.

Grupo D: espécies tolerantes à sombra, características do sub-bosque da floresta. Ciclo de vida variável, bem como o ritmo de crescimento. Reprodução relativamente precoce, geralmente por zoocoria.

Tabela 3: Informações sobre os tratamentos, métodos de plantio e quantidade de espécies em cada consórcio.

				
Tratamento	Semeadura direta (DS)	Agrofloresta (AF)	Matéria + Lenha (TF)	Conservação (CO)
Método de plantio	Semeadura direta de espécies nativas pioneiras ou secundárias iniciais de rápido crescimento	Plantio de mudas de árvores em linhas triplas, intercaladas com faixa de 5m de cultivos anuais por 5 anos	Plantio misto de mudas de espécies de rápido crescimento com espécies madeireiras	Plantio de mudas de alta diversidade com espécies nativas de diferentes grupos ecológicos
Riqueza espé-	5	23	25	42

cies plantadas (Engel, 2003)				
Densidade total de propágulos introduzidos em campo (ha^{-1})	54000	2020	2652	3060
Densidade média total de plântulas estabelecidas no censo inicial (ha^{-1})	Área 1: 1515 Área 2: 1825	Área 1: 1139 Área 2: 805	Área 1: 1184 Área 2: 924	Área 1: 1765 Área 2: 975
Densidade média total de árvores sobreviventes 10 anos após plantio (ha^{-1})	Área 1: 719 Área 2: 724	Área 1: 543 Área 2: 571	Área 1: 597 Área 2: 756	Área 1: 789 Área 2: 532

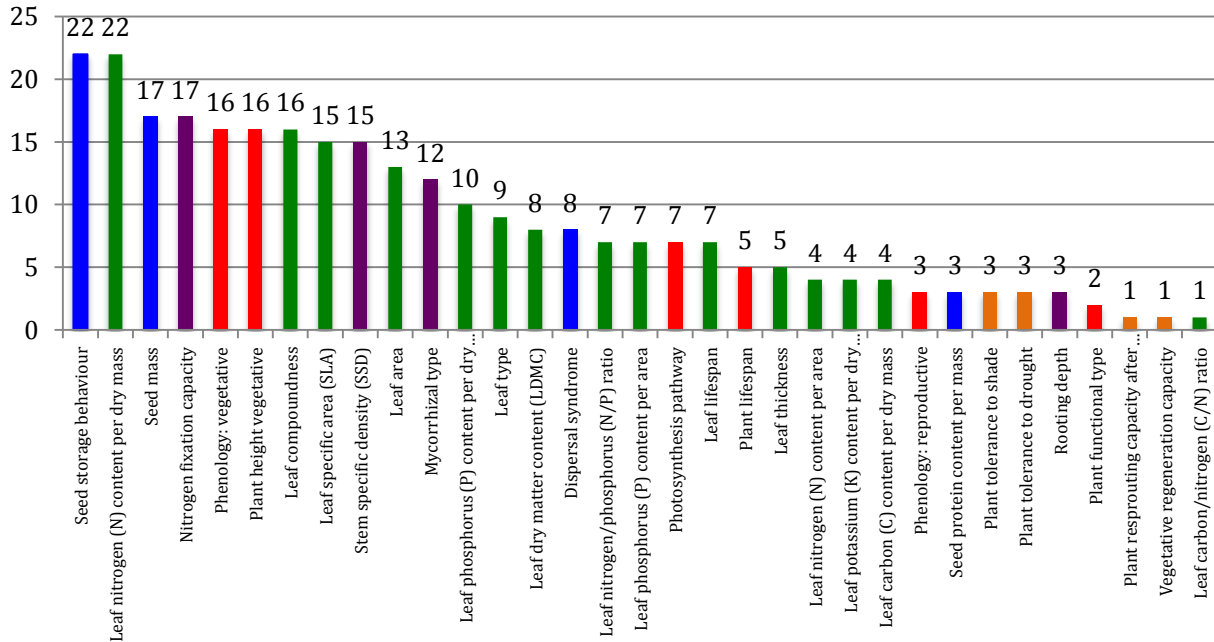


Figura 4 – Quantidade de espécies para as quais obtivemos observações de atributos funcionais fornecidos pela TRY, agrupados por similaridade de órgão ou estrutura, a saber: verde: atributos foliares; vermelho: planta inteira; laranja: resposta e/ou tolerância aos distúrbios; roxo: raízes e caules; e azul: sementes. O limite para a inclusão na análise foi a ocorrência para, ao menos, sete espécies.

Tabela 4: Descrição dos atributos funcionais testados (¹CORNELISSEN et al. 2003 e ²PÉREZ-HARGUINDEGUY et al. 2013).

Atributo funcional	Nome original (Inglês)	Unidade	Descrição
Altura da planta ¹	<i>Plant height vegetative</i>	m	A distância mais curta entre o limite superior dos principais tecidos fotossintéticos sobre uma planta e o nível do solo, expresso em metros
Área foliar ¹	<i>Leaf area</i>	mm ²	A área unilateral projetada de uma folha única, ou uma média ou lâmina foliar, expressa em mm ² .
Área foliar específica ¹	<i>Specific leaf area</i>	mm ² mg ⁻¹	Área da face de uma folha fresca dividida por sua massa seca em forno, expressa em m ² kg ⁻¹ ou em mm ² mg ⁻¹ .
Armazenamento de semente	<i>Seed storage behaviour</i>	orthodox / recalcitrant	Comportamento de germinação da semente em função da perda de umidade.
Capacidade de fixação de nitrogênio	<i>Nitrogen fixation capacity</i>	Sim / Não	Folhas com elevado conteúdo de nitrogênio foliar, capazes de realizar fotossíntese e acumular biomassa a taxas elevadas (Lebrija-Tejos et al., 2010).
Conteúdo de matéria foliar seca (LDMC) ¹	<i>Leaf dry matter content</i>	mg g ⁻¹	É a massa seca (mg) de uma folha dividida pela sua massa fresca saturada em água (g), expressa em mg/g
Concentração de fósforo foliar ¹	<i>Leaf phosphorus concentration</i>	mg g ⁻¹	É a quantidade total de fósforo (P) por unidade de massa seca de folha, expressa em mg g ⁻¹
Conteúdo de nitrogênio foliar por massa seca	<i>Leaf nitrogen content per dry mass</i>	g/cm ³ mg mm ⁻³ kg dm ⁻³	
Densidade básica da madeira	<i>Wood density</i>	g cm ⁻³	A razão da massa de forno seco dividido pelo seu volume fresco (ASANOK et al., 2013).

Densidade específica do caule ²	<i>Stem specific density (SSD)</i>	mg mm ⁻³ kg dm ⁻³	Massa da seção principal do caule de uma planta seca em estufa, dividida pelo volume da mesma seção, quando ainda fresco.
Fenologia vegetativa	<i>Leaf phenology type</i>	Deciduous/ Evergreen	Hábito foliar (decídua/caducifólia ou perenifólia)
Folhas compostas	<i>Leaf compoundness</i>	Simple/ Compound	Divisão do limbo foliar
Fósforo foliar por massa seca ²	<i>Leaf phosphorus per dry mass</i>	mg g ⁻¹	Quantidade total de fósforo (P) por unidade de massa seca de folha, expressa em mg g ⁻¹
Massa de sementes ¹	<i>Seed mass</i>	mg	Massa de uma média de sementes de uma espécie, seca em forno.
Matéria seca foliar ²	<i>Leaf dry matter content</i>	g g ⁻¹	Massa seca, em estufa, de uma folha (mg) dividida por sua massa fresca (g), saturada de água, expressa em mg g ⁻¹
Síndrome de dispersão	<i>Dispersal mode</i>	X	O modo de dispersão do " <i>dispersule</i> ' (ou propágulos = unidades de sementes, frutas ou esporos, como são dispersos) tem óbvias consequências para as distâncias que pode cobrir, as rotas que pode viajar e seu destino final.
Vida útil foliar	<i>Leaf lifespan</i>	meses	Longevidade

Tabela 5: Atributos funcionais solicitados à TRY através de projeto aprovado e número de espécies para as quais foram disponibilizadas observações desses atributos.

Atributos solicitados à TRY:	Nomenclatura original	Nº sp TRY
Altura vegetativa	<i>Plant height vegetative</i>	17
Área da coroa	<i>Crown area</i>	0
Área foliar	<i>Leaf area</i>	13
Área foliar específica	<i>Leaf specific area (SLA)</i>	14
Arquitetura da planta	<i>Plant architecture</i>	0
Atributos vitais de persistência e estabelecimento	<i>Vital attributes of persistence and establishment</i>	0
Capacidade de fixação de nitrogênio	<i>Nitrogen fixation capacity</i>	17
Capacidade de rebrota da planta após distúrbios	<i>Plant resprouting capacity after disturbances</i>	3
Comportamento de armazenamento de sementes	<i>Seed storage behaviour</i>	22
Comprimento da semente	<i>Seed height</i>	0
Comprimento da unidade de dispersão	<i>Dispersal unit length</i>	0
Conteúdo de carbono foliar por massa seca	<i>Leaf carbon (C) content per dry mass</i>	4
Conteúdo de fósforo foliar por área	<i>Leaf phosphorus (P) content per area</i>	7
Conteúdo de fósforo foliar por massa seca	<i>Leaf phosphorus (P) content per dry mass</i>	9
Conteúdo de matéria foliar seca	<i>Leaf dry matter content (LDMC)</i>	8
Conteúdo de nitrogênio foliar por área	<i>Leaf nitrogen (N) content per area</i>	4
Conteúdo de nitrogênio foliar por massa seca	<i>Leaf nitrogen (N) content per dry mass</i>	22
Conteúdo de potássio foliar por área	<i>Leaf potassium (K) content per area</i>	0
Conteúdo de potássio foliar por massa seca	<i>Leaf potassium (K) content dry mass</i>	4
Conteúdo de proteína da semente por massa	<i>Seed protein content per mass</i>	3
Conteúdo de proteína da semente por massa seca	<i>Seed protein content per dry mass</i>	0
Densidade específica do caule	<i>Stem specific density (SSD)</i>	15

Diâmetro radicular	<i>Root diameter</i>	0
Distância de dispersão	<i>Dispersal distance</i>	0
Distribuição foliar ao longo do eixo	<i>Leaf distribution along the axis</i>	0
Divisão do limbo foliar (folhas compostas)	<i>Leaf compoundness</i>	16
Espécies sub-bosque/dossel	<i>Species understory/overstory</i>	0
Espessura da semente	<i>Seed thickness</i>	0
Espessura foliar	<i>Leaf thickness</i>	5
Exigência da planta por luz	<i>Plant light requirement</i>	0
Fenologia reprodutiva	<i>Phenology: reproductive</i>	3
Fenologia vegetativa	<i>Phenology: vegetative</i>	16
Idade de maturidade da planta (1ª floração)	<i>Plant age of maturity (first flowering)</i>	0
Largura da semente	<i>Seed width</i>	0
Largura da unidade de dispersão	<i>Dispersal unit width</i>	0
Massa da semente	<i>Seed mass</i>	16
Massa de semente por planta	<i>Seed mass per plant</i>	0
Massa seca de unidade de dispersão	<i>Dispersal unit dry mass</i>	0
Número de semente por planta	<i>Seed number per plant</i>	0
Número de sementes por unidade de dispersão	<i>Seed number per dispersal unit</i>	0
Palatabilidade foliar	<i>Leaf palatability</i>	0
pH foliar	<i>Leaf pH</i>	0
Profundidade de raízes	<i>Rooting depth</i>	3
Proporção carbono/fósforo foliar	<i>Leaf carbon/phosphorus (C/P) ratio</i>	0
Proporção carbono/nitrogênio foliar	<i>Leaf carbon/nitrogen (C/N) ratio</i>	1
Proporção de nitrogênio/fósforo foliar	<i>Leaf nitrogen/phosphorus (N/P) ratio</i>	7
Regeneração vegetativa	<i>Vegetative regeneration</i>	1
Reprodução vegetativa: propagação lateral	<i>Vegetative reproduction: lateral spread</i>	0
Resistência da planta ao pastoreio	<i>Plant tolerance to grazing</i>	0
Rota fotossintética	<i>Photosynthesis pathway</i>	7

Síndrome de dispersão	<i>Dispersal syndrome</i>	9
Síndrome de polinização	<i>Pollination syndrome</i>	0
Teor de carbono foliar por massa seca	<i>Leaf carbon (C) content per dry mass</i>	0
Teor de matéria seca foliar	<i>Leaf dry matter content (LDMC)</i>	8
Teor de nitrogênio foliar por massa seca	<i>Leaf nitrogen (N) content per dry mass</i>	22
Tipo de estratégia da planta (Grime)	<i>Plant strategy type according to Grime</i>	0
Tipo de fruto	<i>Fruit type</i>	0
Tipo de micorriza	<i>Mycorrhizal type</i>	12
Tipo de unidade de dispersão	<i>Dispersal unit type</i>	0
Tipo foliar	<i>Leaf type</i>	9
Tipo funcional da planta	<i>Plant functional type</i>	2
Tolerância da planta às altas temperaturas	<i>Plant tolerance to high temperatures</i>	0
Tolerância da planta à seca	<i>Plant tolerance to drought</i>	3
Tolerância da planta à sombra	<i>Plant tolerance to shade</i>	3
Tolerância da planta ao tipo de solo	<i>Plant tolerance to soil type</i>	0
Vida útil da folha	<i>Leaf lifespan</i>	7
Vida útil da planta	<i>Plant lifespan</i>	5
Vida útil da semente	<i>Seed lifespan</i>	0

Tabela 6: Atributos funcionais testados e espécies para as quais eles ocorrem.

Atributos	Cálculos e adequações	Espécies com dados disponíveis [TRY*]	Espécies com atributo
Altura da planta	Altura potencial máxima	16*; Embrapa: 23; Lorenzi: 24	<i>Acacia polyphylla</i> ; <i>Aegiphila sellowiana</i> ; <i>Alchornea sidifolia</i> ; <i>Aloysia virgata</i> ; <i>Allophylus edulis</i> ; <i>Anadenanthera macrocarpa</i> ; <i>Aspidosperma cylindrocarpon</i> ; <i>Aspidosperma polyneuron</i> ; <i>Aspidosperma ramiflorum</i> ; <i>Balfourodendron riedelianum</i> ; <i>Bixa orellana</i> ; <i>Cariniana legalis</i> ; <i>Cecropia pachystachia</i> ; <i>Cedrela fissilis</i> ; <i>Ceiba speciosa</i> ; <i>Centrolobium tomentosum</i> ; <i>Chrysophyllum gonocarpum</i> ; <i>Citharexylum myrianthum</i> ; <i>Copaifera langsdorffii</i> ; <i>Cordia superba</i> ; <i>Croton floribundus</i> ; <i>Dalbergia nigra</i> ; <i>Dipteryx alata</i> ; <i>Enterolobium contortisiliquum</i> ; <i>Esenbeckia febrifuga</i> ; <i>Esenbeckia leiocarpa</i> ; <i>Eugenia pyriformis</i> ; <i>Ficus guaranitica</i> ; <i>Guarea guidonia</i> ; <i>Handroanthus impetiginosus</i> ; <i>Jacaranda spinosa</i> ; <i>Lonchocarpus guilleminianus</i> ; <i>Luehea divaricata</i> ; <i>Machaerium acutifolium</i> ; <i>Machaerium stipitatum</i> ; <i>Machaerium villosum</i> ; <i>Mimosa</i>

			<i>caesalpinifolia; Mimosa scabrella; Nectandra megapotamica; Ormosia arborea; Parapiptadenia rigida; Peltophorum dubium; Piptadenia gonoacantha; Poecilanthe parviflora; Pterogyne nitens; Tabebuia roseoalba; Trema micrantha; Trichilia pallida; Zanthoxylum rhoifolium; Zeyheria tuberculosa.</i>
Área foliar	Foram somados todos os valores observados e divididos pelo número de operações para calcular a média aritmética por espécie.	13*	<i>Aspidosperma cylindrocarpon; Cariniana estrellensis; Cedrela fissilis; Cedrela odorata; Eugenia uniflora; Euterpe edulis; Galesia integrifolia; Genipa americana; Guazuma ulmifolia; Hymenaea courbaril; Machaerium acutifolium; Myroxylon balsamum; Schizolobium parahyba.</i>
Área foliar específica	Foram somados todos os valores observados e divididos pelo número de operações para calcular a média aritmética por espécie.	15*	<i>Aspidosperma cylindrocarpon; Cariniana estrellensis; Cedrela fissilis; Cedrela odorata; Ceiba speciosa; Dipteryx alata; Enterolobium contortisiliquum; Euterpe edulis; Galesia integrifolia; Genipa americana; Guazuma ulmifolia; Hymenaea courbaril; Machaerium acutifolium; Schinus terebinthifolia; Schizolobium parahyba.</i>
Armazenamento de semente		22*	<i>Cariniana estrellensis; Ceiba speciosa; Mimosa scabrella; Peltophorum dubium; Cedrela odorata; Copaifera langsdorffii; Dipteryx alata; Hymenaea courbaril;</i>

			<p><i>Genipa americana; Guazuma ulmifolia; Aspidosperma polyneuron; Eugenia uniflora; Enterolobium contortisiliquum; Ormosia arborea; Pterogyne nitens; Parapiptadenia rigida; Myroxylon balsamum; Handroanthus impetiginosus; Euterpe edulis; Schizolobium parahyba;</i></p>
Capacidade de fixação de nitrogênio		17*	<p><i>Aspidosperma ramiflorum; Cecropia pachystachya; Cedrela odorata; Copaifera langsdorffii; Croton floribundus; Dipteryx alata; Enterolobium contortisiliquum; Euterpe edulis; Guazuma ulmifolia; Hymenaea courbaril; Piptadenia gonoacantha; Pterogyne nitens; Schinus terebinthifolius; Schizolobium parahyba.</i></p>
Conteúdo de matéria seca foliar	Foram somados todos os valores observados e divididos pelo número de operações para calcular a média aritmética por espécie.	8*	<p><i>Aspidosperma cylindrocarpon; Cariniana estrellensis; Cedrela odorata; Ceiba speciosa; Galesia integrifolia; Genipa americana; Guazuma ulmifolia; Schizolobium parahyba.</i></p>
Densidade básica	Dados originais; a densidade básica do tronco (DB) foi analisada pelo método do peso hidrostático.	x	<p><i>Cedrella odorata; Ceiba speciosa; Euterpe edulis; Galesia integrifolia; Genipa americana; Guazuma ulmifolia; Hymenaea courbaril; Myroxylon balsamum; Mimosa scabrella; Schizolobium parahyba; Croton floribundus; Ceiba speciosa; Enterolobium contortisiliquum; Peltophorum dubium; Pterogyne nitens; Anadenanthera</i></p>

			<p><i>macrocarpa</i>; <i>Parapiptadenia rigida</i>; <i>Centrolobium tomentosum</i>; <i>Cedrela odorata</i>; <i>Copaifera langsdorffii</i>; <i>Guazuma ulmifolia</i>; <i>Nectandra sp.</i>; <i>Lonchocarpus guilleminianus</i>; <i>Esenbeckia leiocarpa</i>; <i>Zeyheiria tuberculosa</i>; <i>Hymenaea courbaril</i>; <i>Piptadenia gonoacantha</i>; <i>Luehea divaricata</i>; <i>Dipteryx alata</i>; <i>Cedrela fissilis</i>; <i>Poecilanthe parviflora</i>; <i>Trema micrantha</i>; <i>Dalbergia nigra</i>; <i>Cariniana estrellensis</i>; <i>Cariniana legalis</i>; <i>Euterpe edulis</i>; <i>Gallesia integrifolia</i>; <i>Balfourodendron riedelianum</i>; <i>Aspidosperma polyneuron</i>; <i>Citharexylum myrianthum</i>; <i>Cordia superba</i>; <i>Eugenia pyriformis</i>; <i>Ormosia arborea</i>; <i>Zanthoxylum rhoifolium</i>; <i>Machaerium villosum</i>; <i>Aloysia virgata</i>; <i>Aspidosperma ramiflorum</i>; <i>Mimosa caesalpinifolia</i>; <i>Schinus terebinthifolia</i>; <i>Aegephilla sellowiana</i>; <i>Alchornea sidifolia</i>.</p>
Densidade específica do caule	Uniformizar as unidades que foram fornecidas em duas unidades distintas (mg mm^{-3} ou kg dm^{-3}) para mg mm^{-3}	15*	<p><i>Aspidosperma cylindrocarpon</i>; <i>Bixa orellana</i>; <i>Cariniana estrellensis</i>; <i>Cedrela fissilis</i>; <i>Cedrela odorata</i>; <i>Ceiba speciosa</i>; <i>Dipteryx alata</i>; <i>Enterolobium contortisiliquum</i>; <i>Gallesia integrifolia</i>; <i>Genipa americana</i>; <i>Guazuma ulmifolia</i>; <i>Hymenaea courbaril</i>; <i>Machaerium acutifolium</i>; <i>Myroxylon balsamum</i>;</p>

Fenologia vegetativa	16*	<p><i>Schizolobium parahyba.</i></p> <p><i>Aspidosperma cylindrocarpon;</i> <i>Aspidosperma ramiflorum;</i> <i>Cariniana</i> <i>estrellensis;</i> <i>Cedrela fissilis;</i> <i>Cedrela</i> <i>odorata;</i> <i>Ceiba speciosa;</i> <i>Enterolobium</i> <i>contortisiliquum;</i> <i>Eugenia uniflora;</i> <i>Eugenia pyriformis;</i> <i>Gallesia integrifolia;</i> <i>Genipa americana;</i> <i>Guazuma ulmifolia;</i> <i>Hymenaea courbaril;</i> <i>Machaerium</i> <i>acutifolium;</i> <i>Schinus terebinthifolia;</i> <i>Schizolobium parahyba.</i></p>
Folhas compostas	16*	<p>1) TRY: <i>Aspidosperma cylindrocarpon;</i> <i>Bixa orellana;</i> <i>Cariniana estrellensis;</i> <i>Cedrela fissilis;</i> <i>Cedrela odorata;</i> <i>Ceiba</i> <i>speciosa;</i> <i>Dipteryx alata;</i> <i>Eugenia</i> <i>uniflora;</i> <i>Gallesia integrifolia;</i> <i>Genipa</i> <i>americana;</i> <i>Guazuma ulmifolia;</i> <i>Hymenaea</i> <i>courbaril;</i> <i>Machaerium acutifolium;</i> <i>Myroxylon balsamum;</i> <i>Ormosia arborea;</i> <i>Schizolobium parahyba.</i> 2) EMBRAPA: <i>Allophylus edulis;</i> <i>Aspidosperma</i> <i>polyneuron;</i> <i>Balfourodendron riedelianum;</i> <i>Centrolobium tomentosum;</i> <i>Copaifera</i> <i>langsdorffi;</i> <i>Citharexylum myrianthum;</i> <i>Dalbergia nigra;</i> <i>Esenbeckia leiocarpa;</i> <i>Handropogus impetiginosus;</i> <i>Luehea</i> <i>divaricata;</i> <i>Mimosa scabrella;</i> <i>Parapiptadenia rigida;</i> <i>Peltophorum</i> <i>dubium;</i> <i>Piptadenia gonoacantha;</i></p>

			<p><i>Poecilanthe parviflora</i>; <i>Pterogyne nitens</i>; <i>Schinus terebinthifolia</i>; <i>Zanthoxylum rhoifolium</i>. 3) LORENZI: <i>Acacia polyphyla</i>; <i>Aegiphila sellowiana</i>; <i>Aloysia virgata</i>; <i>Anadenanthera macrocarpa</i>; <i>Cordia superba</i>; <i>Chrysophyllum gonocarpum</i>; <i>Croton floribundus</i>; <i>Esenbeckia febrifuga</i>; <i>Ficus guaranitica</i>; <i>Guarea guidonea</i>; <i>Jacaratia speciosa</i>; <i>Machaerium stipitatum</i>; <i>Machaerium villosum</i>; <i>Mimosa caesalpinifolia</i>; <i>Nectandra megapotamica</i>; <i>Tabebuia roseoalba</i>; <i>Trema micrantha</i>; <i>Trichilia pallida</i>; <i>Zeyheria tuberculosa</i>.</p>
Fósforo foliar		10*	<p><i>Aegiphila sellowiana</i>; <i>Aspidosperma cylindrocarpon</i>; <i>Cariniana estrellensis</i>; <i>Cedrela odorata</i>; <i>Ceiba speciosa</i>; <i>Dipteryx alata</i>; <i>Enterolobium contortisiliquum</i>; <i>Gallsia integrifolia</i>; <i>Schinus terebinthifolia</i>; <i>Schizolobium parahyba</i>.</p>
Fósforo foliar por área		7*	<p><i>Aspidosperma cylindrocarpon</i>; <i>Cariniana estrellensis</i>; <i>Cedrela odorata</i>; <i>Ceiba speciosa</i>; <i>Dipteryx alata</i>; <i>Gallsia integrifolia</i>; <i>Schizolobium parahyba</i>.</p>
Massa da semente	Foram somados todos os valores observados e divididos pelo número de operações para calcular a média	17*	<p><i>Bixa orellana</i>; <i>Cecropia pachystachya</i>; <i>Cedrela odorata</i>; <i>Ceiba speciosa</i>; <i>Enterolobium contortisiliquum</i>; <i>Esenbeckia leiocarpa</i>; <i>Genipa americana</i>; <i>Guazuma ulmifolia</i>; <i>Hymenaea courbaril</i>; <i>Mimosa</i></p>

		aritmética por espécie.		<i>scabrella; Myroxylon balsamum; Peltophorum dubium; Piptadenia gonoacantha; Pterogyne nitens; Schinus terebinthifolia; Schizolobium parahyba.</i>
Nitrogênio foliar		Foram somados todos os valores observados e divididos pelo número de operações para calcular a média aritmética por espécie.	22*	<i>Aegiphila sellowiana; Aspidosperma cylindrocarpon; Cariniana estrellensis; Cecropia pachystachia; Cedrela odorata; Centrolobium tomentosum; Ceiba speciosa; Copaifera langsdorffii; Croton floribundus; Dipteryx alata; Enterolobium contortisiliquum; Euterpe edulis; Gallsia integrifolia; Genipa americana; Guazuma ulmifolia; Hymenaea courbaril; Machaerium stipitatum; Piptadenia gonoacantha; Pterogyne nitens; Schinus terebinthifolia; Schizolobium parahyba.</i>
Relação nitrogênio/fósforo foliar		Foram somados todos os valores observados e divididos pelo número de operações para calcular a média aritmética por espécie.	7*	<i>Aegiphila sellowiana; Aspidosperma cylindrocarpon; Cariniana estrellensis; Cedrela odorata; Ceiba speciosa; Gallsia integrifolia; Schinus terebinthifolia.</i>
Síndrome de dispersão			8*	<i>1) TRY: Cedrela odorata; Ceiba speciosa; Euterpe edulis; Gallsia integrifolia; Genipa americana; Guazuma ulmifolia; Hymenaea courbaril; Myroxylon balsamum. 2) EMBRAPA: Mimosa scabrella; Schizolobium parahyba; Croton floribundus; Ceiba speciosa; Enterolobium</i>

Vida útil da folha	5*	<p><i>contortisiliquum</i>; <i>Peltophorum dubium</i>; <i>Pterogyne nitens</i>; <i>Anadenanthera</i> <i>macrocarpa</i>; <i>Parapiptadenia rigida</i>; <i>Centrolobium tomentosum</i>; <i>Cedrela</i> <i>odorata</i>; <i>Copaifera langsdorffii</i>; <i>Guazuma</i> <i>ulmifolia</i>; <i>Nectandra sp.</i>; <i>Lonchocarpus</i> <i>guilleminianus</i>; <i>Esenbeckia leiocarpa</i>; <i>Zeyheiria tuberculosa</i>; <i>Hymenaea</i> <i>courbaril</i>; <i>Piptadenia gonoacantha</i>; <i>Luehea divaricata</i>; <i>Dipteryx alata</i>; <i>Cedrela</i> <i>fissilis</i>; <i>Poecilanthe parviflora</i>; <i>Trema</i> <i>micrantha</i>; <i>Dalbergia nigra</i>; <i>Cariniana</i> <i>estrellensis</i>; <i>Cariniana legalis</i>; <i>Euterpe</i> <i>edulis</i>; <i>Gallesia integrifolia</i>; <i>Balfourodendron riedelianum</i>; <i>Aspidosperma polyneuron</i>; <i>Citharexylum</i> <i>myrianthum</i>; <i>Cordia superba</i>; <i>Eugenia</i> <i>pyriformis</i>; <i>Ormosia arborea</i>; <i>Zanthoxylum rhoifolium</i>. 3) LORENZI: <i>Machaerium villosum</i>; <i>Aloysia virgata</i>; <i>Aspidosperma ramiflorum</i>; <i>Mimosa</i> <i>caesalpinifolia</i>; <i>Schinus terebinthifolia</i>; <i>Aegephilla sellowiana</i>; <i>Alchornea sidifolia</i>. <i>Aspidosperma cylindrocarpon</i>; <i>Cariniana</i> <i>estrellensis</i>; <i>Cedrela fissilis</i>; <i>Ceiba</i> <i>speciosa</i>; <i>Gallesia integrifolia</i>.</p>
--------------------	----	---

3.3.3 Processamento dos dados brutos

A partir dos dados originais, criamos um subconjunto de dados referente à sobrevivência dos espécimes plantados. O nome científico foi corrigido através do sítio *The Plant List* (www.theplantlist.org), que utiliza o sistema APG III. Estimamos a idade dos plantios calculando a partir da média das datas de semeadura e plantio de mudas em campo para todos os tratamentos, individualmente, pois embora o plantio tenha sido iniciado em 1997, sua conclusão ocorreu meses depois, já em 1998.

Em função das diferentes datas de plantio para um mesmo tratamento e local, há diferentes idades considerando o mesmo censo. Isso implica que os períodos de crescimento das plantas, nos quais se baseiam as leituras de sobrevivência e regeneração natural, está equalizado para cada tratamento. Além disso, foram realizadas adequações matemáticas, como cálculo de média simples para os atributos com diferentes observações e uniformização de unidades, no intuito de torná-los analisáveis.

A partir das datas de semeadura e plantio no campo, calculou-se a idade do povoamento até o primeiro censo, realizado nos anos de 1999 e 2000. Nesse valor inicial de sobrevivência, as “plantas estabelecidas” representam, de fato, o momento zero para a análise de sobrevivência e regeneração natural das espécies plantadas. Com os dados do segundo censo, realizado no ano de 2009, foi feita a divisão do valor observado pela densidade inicial (“plantas estabelecidas”) e a esse valor atribui-se o nome de sobrevivência para fins de cálculo e análise estatística.

A sobrevivência foi calculada com base no número de indivíduos de cada espécie por parcela no período entre censos. Portanto, engloba em si o componente de regeneração natural, pois embora não leve em consideração as plantas que colonizaram o local até a realização do primeiro censo, engloba os indivíduos regenerados no período entre censos apenas das espécies que foram introduzidas e estabelecidas em sua respectiva parcela (e não toda a regeneração espontânea).

3.3.4 Análise estatística

A base de dados de sobrevivência criada foi integrada às informações referentes às características funcionais obtidas através da iniciativa TRY, criando, assim, uma nova base de dados, que foi a referência para a análise estatística. A análise estatística aplicada buscou identificar a contribuição relativa entre as variáveis (sítio, bloco, tratamento, espécie ou atributo funcional) e o desempenho do

policultivo arbóreo, ou seja, se e quanto cada variável determinou o desempenho do plantio e se haveria potencial preditor de desempenho das características funcionais.

Realizou-se uma análise exploratória dos dados e foi analisada a normalidade e distribuição das frequências. Foi feito um histograma para cada variável e aplicado o teste de Shapiro-Wilk. Não houve adesão dos resíduos à distribuição normal. Em seguida, o efeito dos tratamentos foi avaliado através do teste de Kruskal-Wallis, que é um teste não paramétrico, mas a técnica não se mostrou adequada. Foi feita a transformação de escala (“Box-cox”) nos resultados para melhorar a função, mas a violação aos pressupostos se manteve. Após sucessivos testes, o banco de dados não apresentava comportamento condizente com a análise de dados com distribuição normal e, por esse motivo, a análise foi feita utilizando o teste de Monte Carlo, baseado na teoria da aleatorização.

A técnica de *Markov chain Monte Carlo* (MCMC ou testes Monte Carlo) é utilizada quando os resíduos dos modelos não podem ser normalizados, nem têm outras propriedades distribucionais compatíveis com modelos lineares generalizados (GLM). Os testes Monte Carlo permitem que uma amostra dos possíveis rearranjos seja desenhada de forma aleatória e estas amostras são utilizadas no lugar da distribuição de permutação completa. A grande vantagem dessa teoria consiste em, ao invés de examinar todos os rearranjos possíveis, reduzir substancialmente os cálculos necessários, examinando apenas uma pequena, mas representativa e aleatória amostra (GOOD, 2004).

A aplicação da técnica ocorre da seguinte forma: primeiro se reorganizam os dados de forma aleatória. Em seguida, calcula-se a estatística de teste para os dados reorganizados e compara-se o seu valor com o da estatística para a amostra original. Aplica-se, então, uma “regra de parar” para determinar se devemos continuar a amostragem ou se já estamos em posição de aceitar ou rejeitar a hipótese. Todos os testes de hipóteses baseados em permutações foram executados usando a função `aovp()` do pacote `lmPerm` versão 1.1-2 (WHEELER, 2010) no R versão 2.15.0 (R CORE TEAM, 2014).

Em análises preliminares, avaliamos se a taxa de sobrevivência arbórea foi influenciada pela área de estudo (região edafoclimática), tratamento (consórcio de espécies), bloco experimental e/ou pela identidade das espécies, ou seja, o modelo “nulo” – sem considerar nenhum atributo funcional – utilizando o comando (1):

```
aovp (sobrevivencia ~ area + bloco + tratamento(1))
```

```
identidade.especie, seqs= FALSE, perm="Exact")
```

Com o fim de avaliar se um atributo funcional prediz melhor a sobrevivência do que a simples identidade das espécies, a partir do modelo nulo (comando (1) acima), a identidade das espécies foi substituída por um atributo funcional de cada vez (modelo alternativo, conforme comando (2), abaixo):

```
aovp(sobrevivencia ~ tratamento           (2)
+ atributo.funcional, seqs= FALSE, perm="Exact")
```

O efeito principal de área foi significativo apenas para armazenamento de sementes e capacidade de fixação de nitrogênio. O efeito principal de bloco não foi estatisticamente significativo para nenhum atributo. Por essas razões, tanto os efeitos principais como a interação foram excluídos do modelo final.

A interação entre atributo funcional e tratamento foi retirada do modelo final, pois não havia número suficiente de espécies dentro de cada tratamento que permitisse testar uma interação.

Nas funções analíticas não foi feita a interação entre blocos e tratamentos, pois isso implicaria que um tratamento sempre ocorresse mais do que uma vez em um determinado bloco. Nos modelos para os quais o tratamento não contribuiu para explicar a sobrevivência e regeneração natural, esse preditor também foi retirado, mantendo-se apenas o atributo funcional como preditor. Para os demais, quando o tratamento contribuiu para explicar a variação, o tratamento foi mantido. Portanto, iniciamos com um modelo completo, com área, bloco e tratamento, além dos atributos funcionais, mas mantivemos o modelo com menor número de preditores que explicaram a variação.

As somas de quadrados (SS) foram calculadas de forma única (não sequencial), ou seja, as SS de cada preditor foram calculadas condicionadas aos outros preditores do mesmo modelo (seqs= FALSE). Dessa forma, a ordem dos preditores não influencia os resultados. Foram avaliadas todas as aleatorizações possíveis, gerando um valor p exato (perm="Exact").

3.4 REVISÃO DE LITERATURA

A consulta à literatura científica foi feita através do portal de publicações *Web of Science* (www.webofknowledge.com), utilizando-se como palavras para busca, além dos nomes em inglês para cada um dos

atributos funcionais testados (Tabela 4), os seguintes termos: *tropic**, *subtropic**, *functional trait* e *survival*. Embora o retorno tenha sido uma grande quantidade de artigos, a leitura prévia dos resumos foi o filtro para uma leitura mais acurada dos artigos que tivessem relação conceitual e/ou metodológica com nossa pesquisa.

4 RESULTADOS

4.1 Sobrevivência e variação do número de indivíduos

Obtivemos resultados interessantes sobre a capacidade de atributos funcionais das espécies arbóreas plantadas para predizerem uma parte da variabilidade de sobrevivência e regeneração natural. Apresentaram efeito estatístico significativo área foliar específica, capacidade de fixação de nitrogênio, densidade do caule, fenologia vegetativa, folhas compostas, fósforo foliar por massa seca e massa de semente.

Conteúdo de matéria foliar seca também foi um atributo significativo para a predição da sobrevivência e regeneração natural, entretanto, por apresentar grande discrepância entre os modelos, exige cautela na interpretação.

A estimativa da probabilidade de sobrevivência e regeneração das espécies estabelecidas no primeiro censo em relação às espécies plantadas foi estatisticamente significativa para a identidade de espécies, ou seja, houve diferença estatística entre as espécies. Isso significa que a identidade da espécie (com todo seu aparato funcional incluído) pode ser utilizada como preditora da sobrevivência e regeneração natural em plantios de restauração florestal. Além desse preditor, os tratamentos em nível de 5% de significância também foram capazes de prever a sobrevivência das espécies, quando relacionados à identidade, conforme Figura 5.

Conteúdo de nitrogênio foliar, densidade básica da madeira, comportamento de armazenamento da semente, altura vegetativa da planta, área foliar, vida útil foliar, síndrome de dispersão, proporção nitrogênio/fósforo foliar e fósforo foliar por área não apresentaram efeito significativo na sobrevivência das árvores plantadas.

4.2 Atributos funcionais

Dos dezessete atributos funcionais testados (apresentados na Tabela 4), os nove seguintes foram considerados mais eficientes que a identidade da espécie para prever a sobrevivência e regeneração das árvores: área foliar específica, capacidade de fixação de nitrogênio, conteúdo de matéria foliar seca, densidade do caule, fenologia vegetativa, folhas compostas, fósforo foliar por massa seca e massa de semente.

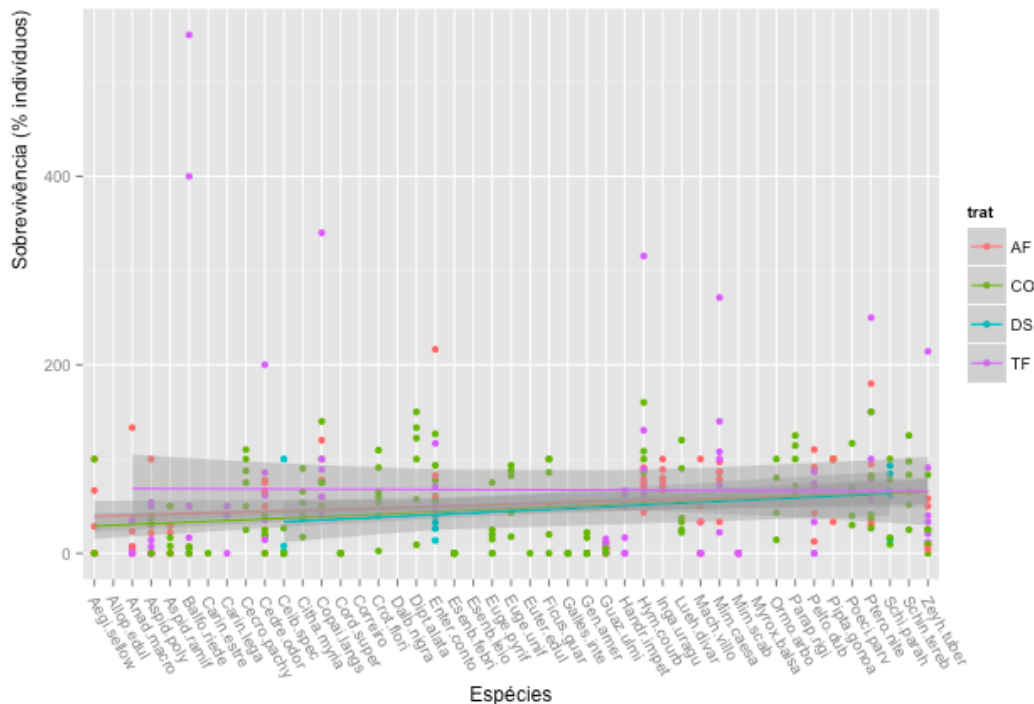


Figura 5: Sobrevivência e regeneração (variação percentual de indivíduos) por espécie (nomes científicos abreviados) nos quatro diferentes consórcios de espécies (AF - agroflorestal, CO - conservação, DS - semeadura direta e TF - madeira e lenha).

Os atributos que não apresentaram capacidade satisfatória de predição de sobrevivência foram: altura da planta, área foliar, armazenamento da semente, densidade básica da madeira (com interação entre tratamento e atributo tendendo a significativo), fósforo foliar por área, nitrogênio foliar, proporção nitrogênio/fósforo foliar, síndrome de dispersão e vida útil foliar.

4.2.1 Capacidade de fixação de nitrogênio

A capacidade de fixação de nitrogênio foi capaz de prever a sobrevivência e a regeneração natural em nível de 5% de probabilidade. A variação da sobrevivência foi significativamente maior no grupo de espécies com capacidade de fixação de nitrogênio, conforme Figura 6.

As espécies fixadoras de nitrogênio sobreviveram e regeneraram em proporção superior a 50% em todos os tratamentos, enquanto as espécies incapazes de fixar nitrogênio apresentaram sobrevivência abaixo desse patamar, com níveis entre 20 e 30%. Os consórcios Conservação (CO) e Semeadura Direta (DS) foram estatisticamente iguais, enquanto Agrofloresta (AF) e Madeira e lenha (TF) diferiram entre si. Cabe ressaltar que a pequena variação de sobrevivência de espécies não fixadoras de nitrogênio no consórcio Semeadura Direta (DS) pode ocorrer em função do pequeno número de espécies desse tratamento.

4.2.2 Densidade específica da madeira

Os valores de sobrevivência e regeneração natural superiores são concentrados em espécies com valores de densidade básica entre 0,42 a 0,45 g/cm³ e entre 0,74 e 0,75 g/cm³, para todos os quatro tratamentos, apresentando comportamento linear, com pior desempenho para o tratamento Conservação, com densidade entre 0,60 e 0,70 g/cm³. Já as espécies desse tratamento com densidade superior a 0,70 g/cm³ apresentaram sobrevivência e regeneração natural superior a 100%, conforme Figura 6.

Todas as espécies do tratamento DS apresentam densidades inferiores a 0,5 g/cm³, com variação de sobrevivência entre 10 a 100%. Finalmente, o tratamento TF apresentou espécies concentradas nos valores de densidade entre 0,4 e 0,5 g/cm³ e superiores a 0,7 g/cm³, com sobrevivência variando entre 40 a pouco mais de 100%, para ambos, e em torno de 20 a 30 %, para densidades próximas a 0,52 g/cm³.

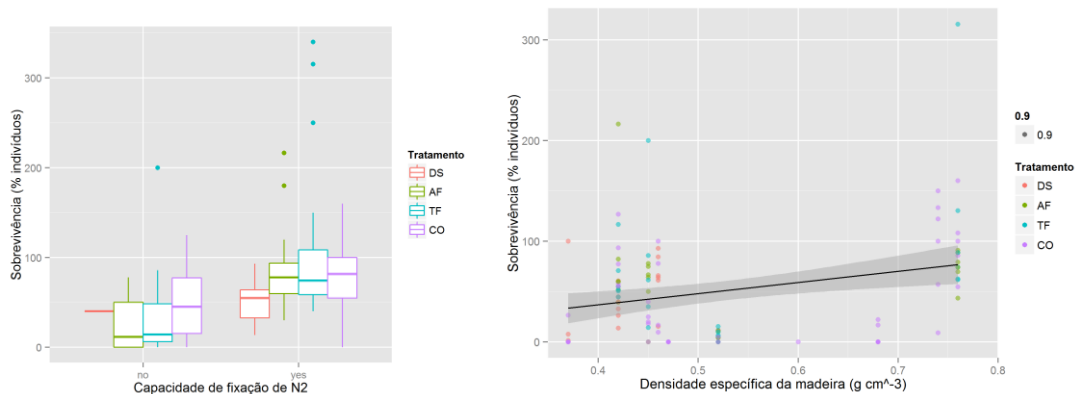


Figura 6: Sobrevivência e regeneração natural (variação percentual de indivíduos) em função (1) da capacidade de fixação de nitrogênio (*yes* ou *no*) e (2) da densidade específica da madeira (g/cm^3) nos tratamentos Semeadura Direta (DS); Agroflorestal (AF); Madeira+Lenha (TF) e Conservação (CO).

O tratamento AF apresentou taxa de sobrevivência variando de 60 a mais de 100%, para espécies com densidade entre 0,4 e 0,5 g/cm³, e entre 40 e 100%, para espécies com densidades superiores a 0,75 g/cm³. As espécies do tratamento CO são as que mais estão representadas ao longo do gradiente de variação, em função do elevado número de espécies, com sobrevivência variando de muito baixa para todas as faixas de valores até mais de 100% para espécies com densidades entre 0,4 e 0,5 g/cm³ e superiores a 0,7 g/cm³.

4.2.3 Fenologia vegetativa

Essa nomenclatura foi utilizada para acompanhar o padrão utilizado pela TRY, entretanto, cabe ressaltar que fenologia vegetativa é mais amplo do que simplesmente a categoria de deciduidade. As espécies utilizadas no experimento com característica de deciduidade são: *Aspidosperma cylindrocarpon*, *Aspidosperma ramiflorum*, *Cariniana estrellensis*, *Cedrela fissilis*, *Cedrela odorata*, *Ceiba speciosa*, *Machaerium acutifolium* e *Schizolobium parahyba*. As espécies *Gallesia integrifolia*, *Genipa americana* e *Guazuma ulmifolia* foram desconsideradas, pois diferentes autores classificaram essas espécies como decídua e perenifólia.

Ao testar a fenologia vegetativa, o atributo funcional foi fortemente significativo para explicar a sobrevivência e regeneração natural. O modelo com interação entre tratamento e atributo revelou que, além do atributo, também o tratamento explica o resultado. As espécies caducifólias apresentaram baixa sobrevivência para todos os tratamentos, enquanto as perenifólias, que são minoria, apresentaram altos índices de sobrevivência e medianas bastantes próximas, conforme Figura 7. Entretanto, como a sementeira direta não possui espécies perenifólias, esse tratamento deve ser desconsiderado por falta de dados.

Os tratamentos AF e TF apresentaram sobrevivência superior a 70% e CO superior a 50% para as espécies que não perdem substancialmente suas folhas, enquanto as espécies decíduas apresentaram sobrevivência variável entre praticamente zero e 60%.

4.2.4 Massa da semente

Os resultados mostraram que esse atributo tem potencial para prever a sobrevivência e que, para esse parâmetro, o tratamento não foi um bom preditor. As espécies com menor massa de semente (menor que 1,0g) apresentaram a maior concentração dos dados, conforme Figura 7.

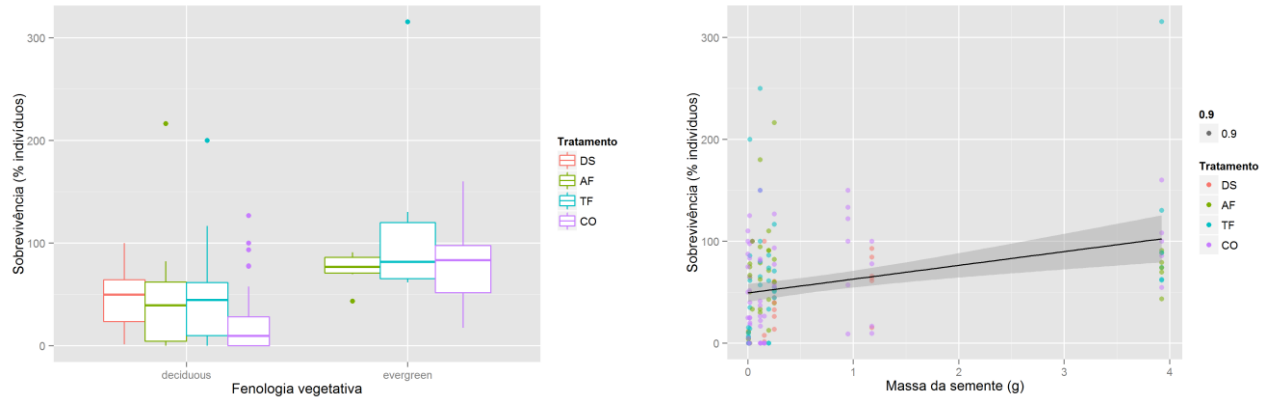


Figura 7: Sobrevivência e regeneração natural (variação percentual de indivíduos) em função (1) da fenologia vegetativa (deciduidade) e (2) da massa da semente em gramas, nos tratamentos Semeadura Direta (DS); Agroflorestal (AF); Madeira+Lenha (TF) e Conservação (CO).

As espécies do tratamento Semeadura Direta estão concentradas entre as faixas de valores 0,2 a 1,2g e a taxa de sobrevivência apresenta variação entre 10 e 100%, para a menor classe de peso, e entre 50 e 90%, em sementes com massa próxima a 1,2g. Entretanto, ressalta-se o pequeno número de espécies desse tratamento. No tratamento Agrofloresta, os dados ocorreram nas faixas extremas de valores de massa de semente com maiores taxas de variação para sementes menores que 0,5g e sobrevivência em torno de 70%, para as sementes grandes (aproximadamente 4,0g).

O tratamento Conservação possui a maior variabilidade de massas de semente em relação aos demais tratamentos e também grande variação nas taxas de sobrevivência. Para sementes menores que 0,5g, a sobrevivência variou de 0 a mais de 100%. O mesmo comportamento ocorreu para espécies em torno de 1,0g. Para espécies grandes, o tratamento Conservação apresentou sobrevivência variando entre 50 a mais de 100%.

No tratamento Madeira+lenha, as espécies apresentaram dados concentrados nos valores 0,5g e aproximadamente 4,0g, com sobrevivência variando de praticamente 0 a mais de 100% e de 60 a mais de 100%, respectivamente.

4.2.5 Área foliar específica

A área foliar específica (SLA) foi um preditor robusto de sobrevivência e regeneração de árvores plantadas, conforme Figura 8.

As espécies do tratamento AF ocorreram apenas para faixas de valores superiores a $10 \text{ mm}^2\text{mg}^{-1}$. A sobrevivência variou de 60 a mais de 100%, para SLA de aproximadamente $12 \text{ mm}^2\text{mg}^{-1}$, de 50 a 70%, para SLA aproximado de $18 \text{ mm}^2\text{mg}^{-1}$, e entre 50 a 80%, para áreas de $25 \text{ mm}^2\text{mg}^{-1}$. A Semeadura Direta (DS) apresentou espécies com áreas aproximadas de 12, 20 e $24 \text{ mm}^2\text{mg}^{-1}$, com sobrevivência variando de 10 a 40%, 60 a 90% e 10 a 100%, respectivamente.

O consórcio destinado à produção madeireira (TF) apresentou melhor desempenho em sobrevivência e regeneração para valores intermediários de área foliar específica: de 40 a mais de 100%, para valores entre 10 e $15 \text{ mm}^2\text{mg}^{-1}$; acima de 50%, para valores entre 16 a $18 \text{ mm}^2\text{mg}^{-1}$, com grande incremento em número de indivíduos; e de 20 a mais de 100%, para $25 \text{ mm}^2\text{mg}^{-1}$, também com incremento considerável em número de indivíduos.

A maior variabilidade na variação de área foliar específica foi observada no tratamento CO, em relação aos demais tratamentos. Os

menores valores observados, em torno de $4 \text{ mm}^2\text{mg}^{-1}$, apresentaram variação de sobrevivência e regeneração de 10 a mais de 100%; praticamente nulo para espécies com $10 \text{ mm}^2\text{mg}^{-1}$; de 0 a mais de 100% para valores de SLA entre 16 a $20 \text{ mm}^2\text{mg}^{-1}$; e de 0 a menos que 50%, para valores entre 20 a $25 \text{ mm}^2\text{mg}^{-1}$.

4.2.6 Folhas compostas

Folha composta (divisão do limbo foliar) é um atributo com capacidade robusta de prever a sobrevivência e a regeneração natural das espécies para as condições do experimento, com menor concentração de sobreviventes com folhas simples, conforme Figura 8. O modelo que melhor explicou a variação entre as espécies foi sem interação.

A Semeadura direta apresentou medianas de sobrevivência semelhantes para ambas as possibilidades, mas sem variação para as espécies de folha simples, e sobrevivência ligeiramente acima de 50% para folhas compostas. As folhas compostas apresentaram desempenho variando entre 10 a 100% nos tratamentos AF, TF e CO, enquanto para folhas simples o desempenho de TF foi ligeiramente superior a 10, em torno de 20% para AF e variando de 0 a 50% para CO.

4.2.7 Fósforo foliar

A sobrevivência e a regeneração natural foram melhor explicadas pelo modelo com a identidade da espécie (AIC e *p-value*) do que através da concentração de fósforo foliar. Entretanto, o atributo também tem a capacidade de prever o desempenho arbóreo, conforme Figura 9.

As maiores taxas de variação de sobrevivência ao longo do gradiente de concentração de fósforo foliar foram registradas para o tratamento CO. Para valores inferiores a $0,5 \text{ mg g}^{-1}$, apenas esse tratamento continha espécies e a sobrevivência variou de 10 a mais de 100%; para valores intermediários, em torno de $1,5 \text{ mg g}^{-1}$, a sobrevivência foi de 0 a mais de 100% e de 0 a 50% para os maiores valores. As espécies do tratamento DS apresentaram concentração de fósforo com valores centrais entre 1,4 e $1,5 \text{ mg g}^{-1}$, com sobrevivência variando entre 10 e 100%.

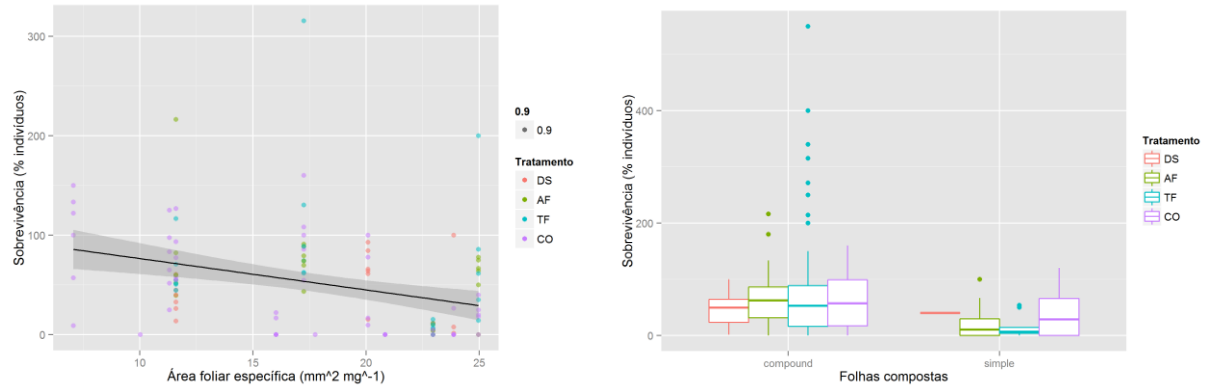


Figura 8: Sobrevivência e regeneração natural (variação percentual de indivíduos) em função (1) da Área foliar específica ($\text{mm}^2 \text{mg}^{-1}$) e (2) da ocorrência, ou não, de folhas compostas nos tratamentos Semeadura Direta (DS); Agroflorestal (AF); Madeira+Lenhas (TF) e Conservação (CO).

AF conta com dados para espécies com concentração foliar de 1,4 a aproximadamente 2,7 mg g⁻¹ e os valores de sobrevivência variaram de 30 a mais de 100%, para os valores intermediários, e de 50 a 70%, para os valores mais altos. A mesma informação de dados ocorreu para o tratamento TF, com sobrevivência variando de 40 a mais de 100%, para espécies com aproximadamente 1,4 mg g⁻¹ e aproximadamente 20 a 90%, para espécies com concentração de fósforo foliar próximas a 2,7 mg g⁻¹.

4.2.8 Matéria seca foliar

Para o modelo com identidade de espécie, as espécies são significativas e o tratamento tende a ser significativo. Para LDMC sem interação, apenas o tratamento apresentou capacidade de prever a sobrevivência das espécies, enquanto o modelo que integra tratamento e o atributo funcional foi fortemente significativo para os dois preditores e para a interação entre eles ($p\text{-value} \leq 2e^{-16}$ para os três parâmetros), conforme Figura 9.

Os valores de LDMC observados para as espécies do tratamento DS estão concentrados entre 0,25 e 0,30 g g⁻¹ e sua sobrevivência variou de 0 a 100%. Já o tratamento AF apresentou concentração de dados em torno de 0,31 g g⁻¹, com sobrevivência variando de pouco mais de 10 até aproximadamente 90%.

O tratamento com maior valor variação de sobrevivência foi o TF, com LDMC seca variando de 0,30 a 0,33 g g⁻¹ e sobrevivência de 0 a mais de 100%. As espécies do tratamento CO cobrem todo o escopo de abrangência do atributo e obtiveram maiores taxas de sobrevivência para os valores intermediários de LDMC (0,31 a 0,32 g g⁻¹) e sobrevivência menor para valores mais altos de LDMC.

Esse padrão mostra que LDMC pode ser um preditor eficiente de sobrevivência e regeneração, mas que é fortemente dependente das condições ambientais e, por isso, sua interpretação deve ser cautelosa.

Nosso estudo encontrou entre as características funcionais, nove correlacionadas à sobrevivência aproximadamente uma década após o plantio. Os atributos com importância ecológica para a sobrevivência são na maioria foliares, mas também relacionados à semente, fenologia vegetativa e características da madeira. Os resultados da análise apresentados de forma análoga à análise de variância (ANOVA LmPerm) estão compiladas na Tabela 7.

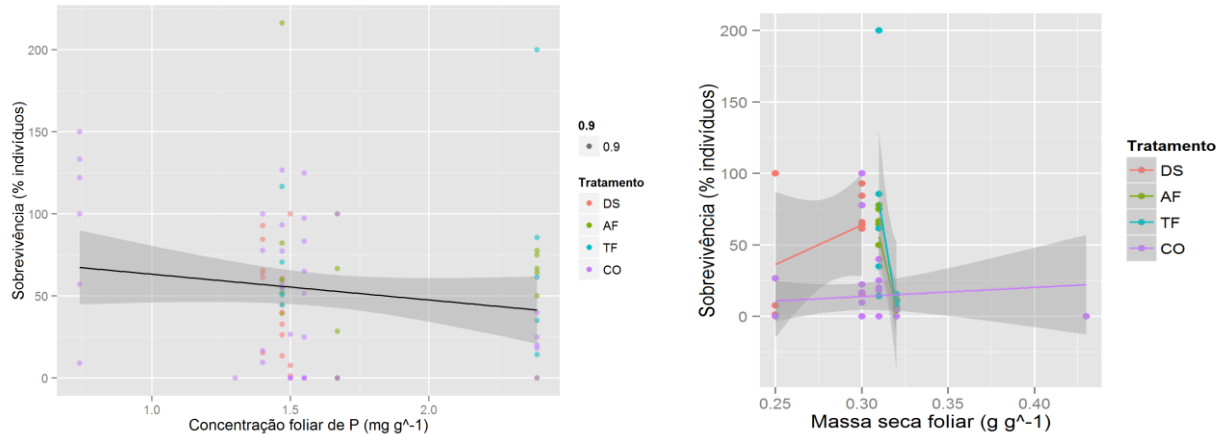


Figura 9: Sobrevivência e regeneração natural (variação percentual de indivíduos) em função (1) da Concentração de fósforo foliar (mg g⁻¹) e (2) do conteúdo de matéria seca foliar (g g⁻¹) nos tratamentos Semeadura Direta (DS); Agroflorestal (AF); Madeira+Lenhas (TF) e Conservação (CO).

Tabela 7: Resultados das análises de variância para todos os atributos funcionais para os quais estavam disponíveis dados de pelo menos sete espécies. Valores abaixo de P , *, **, *** denotam diferenças significativas ao nível de 0.05, 0.01, 0.001, respectivamente.

Atributo funcional	Parâmetros	ANOVA(LmPerm)				
		Df R	Sum Sq R	Mean Sq	Iter	Pr(Prob)
Altura da planta	Tratamento	3	25071	8356.9	2057	0.08313 .
	plant.height	1	562	561.7	336	0.23214
	Resíduos	333	1212303	3640.5		
Área foliar	Tratamento	3	15717	5239	3262	0.1784
	leaf.area	1	0	0	51	1.0000
	Resíduos	70	194667	2781		
Área foliar específica	Tratamento	3	16526	5509	5000	0.057 .
	leafspecific.area	1	43078	43078	5000	<2e-16 ***
	Resíduos	110	254018	2309		
Armazenamento de sementes	seed.storage	1	62	61.54	51	1.0000
	Resíduos	194	564956	2912.14		
Capacidade de fixação de N2	Tratamento	3	24420	8140	5000	0.0268 *

	nitrofix.capacity	1	80482	80482	5000	<2e-16 ***
	Resíduos	152	359926	2368		
Conteúdo de matéria foliar seca	Tratamento	3	34218	11406.1	5000	<2e-16 ***
	leafdry.matter	1	15171	15171.0	5000	8e-04 ***
	Resíduos	53	51028	962.8		
Densidade básica	dens.bas	1	1921	1921.4	51	1.0000
	Resíduos	336	1217764	3624.3		
Densidade do caule	stem.density	1	24571	24571.3	5000	0.0058 **
	Resíduos	106	269496	2542.4		
Fenologia vegetativa	Tratamento	3	18120	6040	5000	0.0286 *
	pheno.veg	1	60328	60328	5000	<2e-16 ***
	Resíduos	119	221510	1861		
Folhas compostas	leaf.comp	1	65031	65031	5000	< 2.2e-16 ***
	Resíduos	309	1125942	3644		
Fósforo foliar	Tratamento	3	13053	4350.9	2438	0.07260 .

	leaf.phosphorus	1	10577	10577.4	4304	0.02277 *
	Resíduos	78	154434	1979.9		
Fósforo foliar por área	leafP.area	1	9421	9420.7	3473	0.02822 *
	Resíduos	43	92090	2141.6		
Identidade da espécie	Tratamento	3	34328	11442.6	5000	0.0158 *
	Identidade da espécie	39	381676	9786.6	5000	<2e-16 ***
	Resíduos	304	842130	2770.2		
Longevidade foliar	Tratamento	3	11940	3979.9	5000	0.0444 *
	leaf.lifespan	1	2796	2795.6	402	0.2015
	Resíduos	34	47986	1411.4		
Massa de semente	seed.mass	1	40856	40856	5000	< 2.2e-16 ***
	Resíduos	158	388480	2459		
Nitrogênio foliar	Tratamento	3	25010	8336.5	5000	0.0358 *
	leaf.nitrogen	1	639	639.0	51	1.0000
	Resíduos	166	488994	2945.7		

N:P	Tratamento	3	12717	4239.0	5000	0.0796 .
	leafN.Pratio	1	2928	2927.6	465	0.1785
	Resíduos	42	63551	1513.1		
Síndrome de dispersão	Tratamento	3	21730	7243.3	5000	0.0890 .
	disp.synd	1	413	413.0	51	0.8824
	Resíduos	63	182817	2901.9		

5 DISCUSSÃO

Observamos grande variabilidade na sobrevivência e regeneração natural (de 0 a mais de 500%) do número de indivíduos estabelecidos em campo dois anos após o plantio. Sobrevivências acima de 100% representam recrutamento de indivíduos pela regeneração natural de espécies plantadas durante a primeira década de seu crescimento. Essa variabilidade na sobrevivência é responsável pelo sucesso variável e/ou custo alto de plantios de restauração.

5.1 Limitações metodológicas

Com o fim de identificar o modelo mais parcimonioso, sistematicamente comparamos o *Akaike Information Criterion* (AIC) ao R^2 , pois ao contrário deste, o AIC “pune” os modelos com maior número de preditores, apresentando, portanto, o modelo com menos preditores como o mais parcimonioso, para os diferentes preditores alternativos, a saber: (a) Atributo funcional com ou sem interação com o tratamento de consórcio de restauração (modelo alternativo) *versus* (b) Identidade das espécies como preditor categórico (modelo nulo).

Em quase todos os casos, o modelo nulo teve um AIC mais baixo, indicando o modelo mais parcimonioso, comparado o modelo alternativo com o atributo funcional.

A representação gráfica dos modelos alternativos (Figuras de 6 a 9) indica uma alta variabilidade não explicada pelo atributo funcional em questão. Especulamos que respostas não-lineares entre os atributos e a sobrevivência explicam parte do porquê de os modelos com a identidade da espécie serem mais parcimoniosos do que modelos equivalentes com atributos funcionais. Além disso, propusemos um ajuste de modelos de sobrevivência a partir de uma regressão múltipla que inclui vários atributos funcionais mais importantes simultaneamente. Porém, para essa abordagem precisariam ser coletados em campo mais atributos funcionais de espécies atualmente pouco pesquisadas.

Os tratamentos (consórcios de restauração) contêm número e composição funcional de espécies contrastantes. Por esse motivo, no presente estudo são restritas as possibilidades de interpretar efeitos de interação entre os tratamentos e atributos funcionais nos casos de termos atributos funcionais de poucas espécies por tratamento. Além disso, outra fraqueza da pesquisa é a falta de dados representativos das

espécies e a pequena quantidade de observações para alguns atributos funcionais.

No entanto, tais constatações não invalidam a pesquisa, mas sugerem cautela na interpretação dos resultados, pois o ideal para fins de comparação seria que todo o gradiente de valores dos atributos funcionais fosse bem representado pelo conjunto de espécies em cada tratamento. Por outro lado, a avaliação em um experimento controlado, que testa diretamente o desempenho das espécies em tal escala de tempo e espaço, é extremamente forte e positiva.

5.2 Filtros ambientais

Da literatura, temos que (i) o ambiente físico impõe restrições ecológicas e evolutivas que criam um “filtro ambiental” à instalação de espécies e que (ii) espécies com necessidades ecológicas similares são encontradas em ambientes similares (MYERS; HARMS, 2009). Em função da diferença dos tipos, fertilidade de solo e eventuais variações climáticas, sobretudo em função da altitude nas duas áreas do experimento, esperava-se que a área apresentasse efeito principal significativo e é, portanto, surpreendente que não tenha sido um bom preditor para a sobrevivência e regeneração natural.

Além das variações locais e das possíveis variações no plantio, era de se esperar que o efeito do tratamento e composição de espécies de cada tratamento também apresentassem efeito principal capaz de explicar a sobrevivência para parte significativa das espécies. Porém, mesmo que a área, que foi retirada do modelo, e o tratamento não tenham sido bons preditores para a sobrevivência, encontramos nove atributos funcionais correlacionados à resposta.

5.2.1 Atributos funcionais

Diversos estudos buscam analisar, individualmente ou com poucas interações, quais características específicas podem conferir maior probabilidade de sucesso em plantios heterogêneos para fins de restauração e produção florestal, com resultados positivos e negativos.

5.2.1.1 Atributos funcionais que apresentaram capacidade preditora de sobrevivência e regeneração natural

5.2.1.1.1 Capacidade de fixação de nitrogênio

Com quase o dobro de sobreviventes e regenerantes para as espécies fixadoras, a capacidade de fixação de nitrogênio foi capaz de prever a sobrevivência e a regeneração natural. Esse resultado era esperado, pois é amplamente reportado que N_2 é inicialmente limitante em ecossistemas degradados e, por isso, a capacidade de fixar esse nutriente apresenta grande vantagem competitiva.

Em experimento com plantio de restauração em pastagens de duas espécies, uma fixadora de nitrogênio e outra não, para avaliar o efeito da capacidade de fixação de nitrogênio sobre o solo e capacidade de regeneração florestal, a melhoria das condições abióticas e de solo sob a copa das árvores fixadoras de nitrogênio de pastagens favorecem o estabelecimento e crescimento de lenhosas. Esse resultado mostra que as árvores com essa característica podem ser usadas para acelerar a regeneração natural dentro de pastagens abandonadas (ROADHES; ECKERT; COLEMAN, 2008), possivelmente pelo efeito de facilitação. É um resultado coerente também com as altas taxas de acúmulo de N nos diversos estoques do ecossistema medidos no mesmo experimento por Siddique et al. (2008).

5.2.1.1.2 Densidade específica da madeira

A densidade específica da madeira foi um preditor capaz de prever a sobrevivência e a regeneração natural em uma relação positiva, ou seja, as maiores taxas de sobrevivência ocorreram para espécies de madeira mais densa.

Por um lado, esse resultado pode refletir que maior densidade confere maior resistência da madeira aos organismos xilófagos ou até mesmo às doenças, resultando em vantagem competitiva. Por outro lado, espécies com lenho mais denso, em geral, apresentam crescimento mais lento, o que conferiria menor capacidade competitiva com a vegetação espontânea, sendo uma desvantagem.

Em estudo com florestas primárias, secundárias e em plantios de restauração no norte da Tailândia, o resultado encontrado foi negativamente correlacionado à intensidade luminosa (ASANOK et al., 2013). Nesse estudo, o autor afirma que espécies com madeira densa tendem a ter altas taxas de sobrevivência, porque elas tendem a tolerar estresse por sombreamento.

Em oposição, a densidade básica não foi um preditor capaz de prever a sobrevivência e a regeneração natural nesse experimento. A densidade básica da madeira foi medida para os indivíduos oriundos do experimento realizado em Botucatu, SP. Por serem dados originais do

experimento, a informação cobre todo o gradiente de valores dos tratamentos. O resultado é contrastante com o encontrado para densidade específica da madeira, com dados de menos espécies e oriundo de diferentes locais de medição e disponibilizados pela TRY.

5.2.1.1.3 Fenologia vegetativa

As espécies perenifólias apresentaram o dobro de sobrevivência e regeneração natural em relação às espécies caducifólias. É possível que esse fenômeno ocorra em função da melhor conservação de carboidratos já sintetizados ou ainda porque apresentam crescimento contínuo, incluindo a estação seca. As espécies caducifólias, portanto, teriam seu crescimento diminuído em determinado período do ano, quando perdem ou tem sua capacidade fotossintética muito diminuída. Ambas as situações apresentariam vantagem competitiva em relação à vegetação espontânea, favorecendo o desempenho.

Em experimento com espécies tropicais de florestas secas, a partir da premissa de que as espécies desses ambientes apresentam variações em alguns atributos funcionais para superar as limitações de água, Kushwaha et al. (2011) investigaram o papel dessas características de árvores no calendário sazonal de floração e frutificação. Uma das conclusões que encontraram foi que a capacidade das espécies de árvores para resistir ou evitar o estresse hídrico, através da deciduidade e diferentes épocas de floração sazonais, parece ser o principal mecanismo de sobrevivência e reprodução bem sucedida sob clima extremamente seco e sazonal.

Em estudo para avaliar se atributos funcionais poderiam prever a sobrevivência à seca, foram comparadas as características funcionais de 38 espécies arbóreas tropicais de floresta seca e úmida e quantificado seu desempenho (POORTER; MARKESTEIJN, 2008). A deciduidade explicou 69% da variação interespecífica para a sobrevivência à seca. Portanto, espécies adaptadas à perda de água foram mais eficientes em termos de sobrevivência, o que não ocorreu com nosso estudo, que mostrou maior sobrevivência para as espécies perenifólias.

É possível que as espécies perenifólias possuam mecanismos que confirmam melhor conservação dos nutrientes e dos carboidratos já sintetizados ou ainda que, ao continuar crescendo na época seca, essas espécies competiriam melhor com a vegetação espontânea, obtendo vantagem inicial. Portanto, mesmo que a perda de folhas durante a estação seca seja uma característica intrínseca dessa formação florestal, a incorporação do maior número possível de espécies com capacidade

de reter folhas na estação seca, pode ser benéfica para o estabelecimento inicial da floresta.

5.2.1.1.4 Massa da semente

As taxas de sobrevivência foram negativamente relacionadas com a massa de sementes, ou seja, as espécies com sementes mais leves apresentaram sobrevivência inferior à sobrevivência de espécies do grupo com sementes mais pesadas. Porém, possuímos poucos dados para espécies com sementes grandes, o que torna o efeito menos confiável.

Espécies com sementes maiores apresentam maiores reservas para crescimento e sobrevivência inicial, o que representa uma vantagem competitiva em relação à vegetação espontânea, geralmente de sementes pequenas. Além disso, a quantidade de reserva permite que a planta sobreviva mais tempo sob o sub-bosque sombreado, aguardando uma oportunidade para seu pleno desenvolvimento.

Espécies com sementes menores são, geralmente, mais dependentes de habitats abertos, onde a concorrência e a sombra são menos intensas (LEISHMAN et al., 2002). Em experimento de semeadura em sub-bosque florestal na Guiana Francesa, os resultados mostraram que as sementes maiores produzem mudas iniciais maiores, que tendem a sobreviver melhor, porém com crescimento mais lento (BARALOTO; FORGET; GOLDBERG, 2005).

Em experimento monitorado por aproximadamente uma década, Chapman et al. (2008) testaram a correlação entre quatro atributos funcionais e identificaram que massa de sementes apresenta a melhor correlação de taxas de crescimento em diâmetro e as taxas de sobrevivência. Entretanto, por tratarem-se de áreas florestais estabelecidas e por testar a correlação dos atributos entre si, possui especificidades experimentais e analíticas de difícil comparação para nosso estudo.

Nossos resultados sugerem que o desempenho das espécies com sementes maiores foi superior. Isso pode ser resultado do longo período de observação, pois as condições iniciais favoreceriam o desenvolvimento de espécies com sementes diminutas, mas com o passar do tempo e gradual aumento do sombreamento das áreas, as condições ambientais passaram a favorecer espécies com sementes maiores e mais densas. Além disso, estão em conformidade com um experimento sobre o crescimento inicial de plântulas e sobrevivência de 24 espécies arbóreas e arbustivas, em que Zanne (2003) encontrou uma

correlação positiva entre a massa de sementes e sobrevivência, independentemente das condições ambientais do plantio.

5.2.1.1.5 Área foliar específica

A área foliar específica (SLA) foi capaz de prever a sobrevivência e a regeneração natural. Por um lado, esse fenômeno pode ser resultado da vantagem competitiva em condição de pleno sol e estresse hídrico, pois folhas mais grossas e, portanto, com baixa SLA, apresentaram maior sobrevivência e regeneração. Por outro lado, a área foliar, um índice de área e não de espessura, não mostrou a mesma capacidade.

Como resultado das diferenças de área foliar específica, mudas de pioneiras tropicais costumam ter índices de área foliar maiores do que as de crescimento lento, associados tolerantes à sombra, ao menos quando as espécies são comparadas em ambientes bem iluminados (VENEKLAAS; POORTER, 1998). Em um estudo relacionando a sobrevivência e a área foliar específica de uma única espécie, Ramirez-Valiente (2014) testou se os atributos área foliar específica (SLA) e concentração de nitrogênio foliar por massa (N-foliar) e a eficiência do uso da água da espécie sobreiro (*Quercus suber* L.) desempenham papel importante na adaptação dessa espécie à disponibilidade de água no ambiente. Para isso, entre outros pontos, o autor testou a variação do nível populacional em conjunto com a seleção de curto prazo sobre essas características, em diferentes condições de disponibilidade hídrica, utilizando dois componentes da aptidão: sobrevivência e crescimento. Os resultados encontrados mostraram correlação com os filtros ambientais, com populações de lugares secos exibindo os menores valores de SLA e não encontraram qualquer padrão de associação entre as características funcionais e sobrevivência em mudas. As implicações ecológicas desse estudo sugerem que plantas jovens de sobreiro têm um potencial considerável para lidar com condições secas.

Em pesquisa na qual foram analisadas as relações entre (i) as taxas de crescimento e sobrevivência e (ii) três características morfológicas (além de área foliar específica), cinco das nove espécies testadas apresentaram maior taxa de área foliar específica em níveis mais baixos de luz no final do experimento e uma única espécie com elevada área foliar específica para o mais alto nível de luz. Em contraste, os níveis de luz não causaram qualquer variação significativa na área foliar específica das outras espécies testadas (SALDANA-ACOSTA et al., 2009).

A área foliar específica é um atributo funcional menos intuitivo para ampla utilização em projetos de produção e restauração florestal. Por essa razão, estudos que comprovem sua capacidade de prever o desempenho florestal e a organização de espécies para diferentes formações florestais em categorias de uso são altamente desejáveis para incorporar o SLA a florestas construídas.

5.2.1.1.6 Folhas compostas

A divisão foliar foi capaz de prever a sobrevivência e a regeneração natural: a sobrevivência mais do que dobrou para espécies com limbo foliar dividido.

Em estudo para analisar as estratégias funcionais de duas comunidades florestais, Lebrija-Trejos et al. (2010) encontraram distintas estratégias para comunidades em regeneração. Entre a comunidade mais jovem, o resultado refletiu, sobretudo, diferenças nos atributos para a redução da carga de calor e controle do estado da água, como o grau de segmentação foliar.

Nosso resultado pode, por exemplo, significar que folhas compostas atraem menos a fauna e, pela evasão da herbivoria (filtro biótico), houve elevação das taxas de sobrevivência e recrutamento. Além disso, por um lado, folhas compostas, com menor área foliar pela diminuição da face do limbo, podem apresentar menor área para realização de fotossíntese, mas, por outro lado, maior controle de perda de água, o que em ambientes abertos, submetidos ao estresse hídrico como áreas em restauração, pode ser uma estratégia bem sucedida.

5.2.1.1.7 Fósforo foliar

Baixa concentração de fósforo implicaria alta produção de biomassa por fósforo consumido, o que seria uma vantagem competitiva quando há pouco fósforo disponível no solo. Como o número de espécies com esse atributo foi relativamente baixo, há pouca evidência para sugerir que espécies com baixa concentração de fósforo foliar apresentam maior sobrevivência e regeneração.

Não encontramos estudos relacionados a quantidade de fósforo foliar e a sobrevivência em plantios florestais, quer para fins de restauração, quer para sistemas produtivos. Em uma meta-análise das relações de carbono em nutrientes para o clima em 113 locais em todo o bioma de floresta tropical, as análises mostraram que fósforo foliar e nitrogênio foliar foram diretamente relacionados às concentrações de

fósforo no solo da superfície total (0-10cm) (CLEVELAND et al., 2011). Os únicos indicadores que predisseram a produtividade primária bruta acima do solo em floresta de várzea foram o fósforo foliar e o do solo, o que implica que a disponibilidade de fósforo regula a produtividade primária bruta e outros processos ecossistêmicos em várzea tropicais. É importante notar, porém, que as relações eram fracas.

5.2.1.1.8 Conteúdo de matéria foliar seca

O efeito estatístico da matéria seca foliar sobre a sobrevivência dependia do consórcio de plantio (interação entre atributo funcional e tratamento). Dado o pequeno número de espécies das quais dados de matéria seca foliar estão disponíveis, essa aparente interação significativa deve ser interpretada com cautela.

O conteúdo de matéria foliar seca foi um forte preditor de performance para espécies não-pioneiras, em experimento de médio prazo, para a restauração em ambiente tropical estacionalmente seco. (MARTINEZ-GARZA, BONGERS; POORTER, 2013).

5.2.1.2 Atributos funcionais que não apresentaram capacidade preditora de sobrevivência e regeneração natural

Nossos resultados não mostram os seguintes atributos de plantas como capazes de prever a sobrevivência e a regeneração natural dos indivíduos florestais para nossas condições experimentais: altura da planta, área foliar, armazenamento de semente, densidade básica, fósforo foliar por área, nitrogênio foliar por área, proporção nitrogênio-fósforo foliar e vida útil foliar. Para os seguintes atributos funcionais foram encontrados estudos apontando relação entre esses atributos e sobrevivência ou regeneração natural.

5.2.1.2.1 Altura da planta

Em estudo com sobrevivência e crescimento associados a atributos funcionais de resposta, a altura máxima foi associada à sobrevivência de espécies de fim de sucessão plantadas em estágios iniciais de sucessão (MARTINEZ-GARZA, 2005). Em outro estudo na floresta tropical africana, as plantas de menor estatura não desenvolveram sementes grandes (CHAPMAN et al., 2008). Como houve respostas positivas entre o tamanho das sementes e a sobrevivência, deduz-se que as árvores de menor porte teriam menor

habilidade de sobreviver e crescer. Em estudo realizado em floresta subtropical úmida por Uriarte et al. (2010) os resultados mostraram que o tamanho máximo da árvore influenciou a probabilidade de sobrevivência de duas espécies. Entretanto, não houve padrões claros para o sucesso de qualquer atributo na previsão de efeitos de vizinhança sobre a sobrevivência.

Para as condições de Botucatu-SP, acreditamos que as condições de crescimento inicial em altura podem fazer muita diferença na sobrevivência e produção de descendentes na área, em função, principalmente, da competição com a vegetação espontânea. Entretanto, aparentemente, com o passar do tempo, a dinâmica florestal promove um equilíbrio entre essas forças e a altura das plantas ou se torna mais homogênea ou deixa de ter papel preponderante para a sobrevivência no local.

5.2.1.2.2 Vida útil foliar

A vida útil foliar é um atributo de associação clara com a herbivoria ou a resistência a ela (Kitajima et al., 2013), mas também com a taxa de fotossíntese e eficiência ou controle do uso de água. Porém, não é comparável ao efeito da deciduidade, pois mesmo para as espécies que apresentam folhas com longevidade muito reduzida e, portanto, passariam por diversos períodos entre a renovação foliar, ela não ocorre de forma concentrada.

Um experimento com 104 espécies arbóreas, no qual o período de vida é citado como atributo importante para associação com a resistência à herbivoria, buscou avaliar como a luz afeta a longevidade foliar e como o desenvolvimento dos indivíduos pode influenciar, entre outros atributos, a vida útil das folhas e a sobrevivência das plântulas. (KITAJIMA et al., 2013). Os resultados mostraram que a vida útil das folhas foi maior na sombra do que em clareiras, mas com forte correlação entre aberturas e sombra. A vida útil foliar foi negativamente correlacionada à mortalidade de mudas à sombra, enquanto a mortalidade em clareiras não mostrou correlação com nenhuma característica testada. (KITAJIMA et al., 2013).

Em outro estudo, com a vida útil foliar como atributo de resposta, Kitajima e Poorter (2010) observaram que a resistência à fratura e densidade do tecido das lâminas e veias, mas não a espessura da lâmina, foram positivamente correlacionadas ao tempo de vida da folha e à sobrevivência de mudas e negativamente à taxa de herbivoria e aos

requisitos de luz de mudas em regeneração. Tal observação indica a importância de características foliares dos tecidos.

5.2.1.2.3 Nitrogênio foliar

Encontramos um único estudo, relacionando a sobrevivência de uma única espécie, que testou os atributos nitrogênio foliar por massa seca (N-foliar) e área foliar específica (SLA). Nesse estudo, Ramirez-Valiente (2014) testou se os atributos e a eficiência do uso da água da espécie sobreiro (*Quercus suber* L.) desempenham papel importante na adaptação dessa espécie à disponibilidade de água no ambiente. Os resultados encontrados mostraram correlação dos filtros ambientais, com populações de lugares secos exibindo os menores valores de N-foliar e não encontraram qualquer padrão de associação entre as características funcionais e sobrevivência em mudas de nove anos de idade. As implicações ecológicas desse estudo sugerem que plantas jovens de sobreiro têm um potencial considerável para lidar com condições secas.

5.3 Implicações para o manejo e restauração florestal

A construção de comunidades florestais a partir de atributos funcionais tem sido entusiasticamente pesquisada pela comunidade científica. Entretanto, há poucos exemplos na literatura, em que os efeitos de fatores abióticos e de diferentes componentes da diversidade funcional foram explorados simultaneamente (DÍAZ et al., 2007).

Para prever a colonização arbórea em áreas não florestadas na Nova Zelândia, Mason et al. (2013) encontraram forte evidência para as relações entre valores de atributos, diversidade de atributos funcionais e preditores chave para a ocorrência de espécies arbóreas. Baraloto et al. (2012) descobriram que, em média, a co-ocorrência de espécies tropicais teve maior semelhança funcional e, em menor medida, filogenética que o esperado pelo acaso em estudos na Guiana Francesa.

Nas Filipinas, um estudo com uma técnica de reflorestamento local e atributos foliares indica que as espécies têm diferentes estratégias de investimento foliar que podem implicar a existência de diferenças no desempenho de toda a planta (SALES-COME; HOLSCHER, 2010). Esses estudos reforçam o potencial dos atributos para explicar o conjunto de espécies coexistentes em uma comunidade e também

selecionar espécies mais adequadas para adaptação aos filtros ambientais.

Nosso trabalho mostra que a incorporação da diversidade funcional não só é desejável para a construção de comunidades florestais viáveis ao longo do tempo, mas que são de fácil incorporação. A escolha e a combinação de espécies que possuam uma ou mais características funcionais que indiquem sucesso nas taxas de sobrevivência e aumento do recrutamento proveniente da regeneração natural pode ser combinada com o critério de sucessão secundária e, eventualmente, até substituí-lo.

6 CONCLUSÕES

Este estudo contribui com evidência empírica de que alguns atributos funcionais explicam parte significativa da variação na sobrevivência e regeneração de árvores em plantios para a restauração e produção florestal em terrenos degradados da Mata Atlântica, onde a regeneração natural pode ser dificultada pelas condições naturais via filtros ambientais.

Essa relação ecofisiológica se traduz na capacidade das espécies, com as características funcionais positivamente relacionadas, de se estabelecerem e persistirem sob as condições ambientais encontradas em áreas de floresta estacional semidecidual degradada. A capacidade de atributos funcionais das espécies arbóreas plantadas de explicar parte da variabilidade de sobrevivência e da regeneração natural foi confirmada para: área foliar específica, capacidade de fixação de nitrogênio, densidade do caule, fenologia vegetativa, folhas compostas, fósforo foliar e massa de semente, pois apresentaram efeito estatístico significativo para a espécie de ocorrência na floresta estacional semidecidual de Botucatu, SP.

Concluimos que, para a Floresta Estacional Semidecidual, a sobrevivência e a regeneração natural de espécies florestais em plantios mistos de restauração e produção florestal podem ser preditas por alguns atributos funcionais dessas espécies.

Concluimos, também, que as características ambientais locais e os fatores de manejo (filtros ambientais) podem atuar como preditores de sobrevivência e regeneração, mas a interação entre todos os fatores é complexa e merece especial cuidado para a interpretação. Por essa razão, concentramo-nos na interpretação do efeito principal de tratamento, pois a proposta busca superar o modelo baseado em arranjos para ressaltar a escolha de atributos funcionais eficientes.

Além disso, para a maioria dos casos, os atributos funcionais não são melhores preditores de sobrevivência arbórea e regeneração natural em plantios mistos na floresta estacional semidecidual do que a identidade de espécies.

A restauração florestal ecológica pode estar diante de um novo paradigma, a partir da perspectiva de inserção da diversidade funcional e não apenas da diversidade biológica em novos projetos. Essa premissa está alinhada com o estado da arte da restauração, que aponta que inicialmente é necessário criar condições ambientais que suportem uma floresta diversa ou eliminar os fatores limitantes à restauração, para, em

seguida, inserir ou assistir ao incremento da biodiversidade. Alternativamente, essa abordagem pode sugerir que a diversidade biológica tem menos importância que a diversidade funcional e, assim, guiar projetos de restauração que priorizem poucas espécies com aparato funcional específico, o que poderia agravar a crise de perda de espécies que vivemos.

De acordo com a literatura, esperamos que densidade específica da madeira, capacidade de fixação de nitrogênio, fenologia vegetativa, massa de semente, área foliar específica e conteúdo de matéria foliar seca sejam atributos prováveis de manter essa capacidade de predição mais amplamente para outras formações florestais e para outras espécies nos trópicos. Tal resultado implicaria a possibilidade de aliar redução de investimento de instalação ao aumento de sucesso do plantio, seja de restauração ou de manejo, pois já é possível prever e desenhar modelos mais eficientes para a restauração florestal.

A inserção da diversidade funcional pode ser uma aliada na construção de uma comunidade ecologicamente mais estável, utilizando-se de características funcionais desejáveis para superar limitações impostas por filtros ambientais ou atributos com capacidade de ocupar ambientes diversos. A inclusão da diversidade funcional não pode significar uma diminuição da importância da riqueza de espécies nos projetos de restauração. Ao contrário, é desejável ampliar a diversidade em todos os seus aspectos e é nessa lacuna que os atributos funcionais serão ferramentas importantes para criar as condições iniciais para o sistema degradado ou alterado funcionar para, em seguida, incrementar a biodiversidade.

Nosso estudo mostrou que as diferentes condições ambientais não foram capazes de explicar a variação de sobrevivência para as condições experimentais. Portanto, para melhor predizermos a performance de plantios mistos, é necessário (1) aumentar o número de espécies (com seus atributos funcionais) testadas; (2) determinar qual a combinação ideal de espécies com base nos atributos positivamente relacionados à sobrevivência; (3) testar se estratégias funcionais que integram vários atributos funcionais predizem melhor a sobrevivência do que atributos funcionais individuais; (4) avaliar as relações multivariadas entre atributos funcionais que contribuem para o desempenho ecológico; e (5) testar o efeito dos atributos funcionais no crescimento das espécies.

REFERÊNCIAS

ASANOK, L. et al. Relationships between functional traits and the ability of forest tree species to reestablish in secondary forest and enrichment plantations in the uplands of northern Thailand. **Forest Ecology and Management**. May 2013; 296: 9-23. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000318210900002 >.

BARALOTO, C. et al. Using functional traits and phylogenetic trees to examine the assembly of tropical tree communities. **Journal of Ecology**. May 2012; 100: 690-701. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000302623200011 >.

BARALOTO, C., P.-M. FORGET, AND D. E. GOLDBERG. Seed mass, seedling size, and neotropical tree seedling establishment. **Journal of Ecology**. 2005. 93: 1156–1166.

CADOTTE, M. W.; CARSCADDEN, K.; MIROTCHEV, N. Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. **Journal of Applied Ecology**. Oct 2011; 48:1079-1087. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000295095100003 >.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. v. 1. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. v. 2. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2006.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. v. 3. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2008.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. v. 4. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2010.

CHAPMAN, C. A. et al. A 10-year evaluation of the functional basis for regeneration habitat preference of trees in an African evergreen forest. **Forest Ecology and Management**. jun 2008; 255: 3790-3796. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000257019100017 >.

CLEVELAND, C. C., et al. Relationships among net primary productivity, nutrients and climate in tropical rain forest: a pan-tropical analysis. **Ecology Letters**. 2011; 14(9): 939–947. Disponível em: doi:10.1111/j.1461-0248.2011.01658.x

CORNELISSEN, J. H. C. et al. Functional traits of woody plants: correspondence of species rankings between field adults and laboratory-grown seedlings? **Journal of Vegetation Science**. Jun 2003; 14: 311-322. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000184495400002 >.

DIAZ, S.; CABIDO, M. Vive la difference: plant functional diversity matters to ecosystem processes. **Trends in Ecology & Evolution**. Nov 2001; 16: 646-655. Disponível em: <<Go to ISI> :// WOS: 000171714 800016>.

DIAZ, S. et al. Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**. Dec 2007; 104: 20684-20689. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000252077400014 >.

ENGEL, V. L.; PARROTTA, J. A. An evaluation of direct seeding for reforestation of degraded lands in central Sao Paulo state, Brazil. **Forest Ecology and Management**. Oct 2001; 152: 169-181. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000171497800014 >.

ENGEL, V.L.; PARROTA, J.A. Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. In: KAGEYAMA, P.Y.; et al. (Ed.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, 2003. p.03-26.

GOOD, P.I. **Permutation, Parametric and Bootstrap Tests of Hypotheses**. New York: Springer, 2005.

HALL, J. S. et al. The ecology and ecosystem services of native trees: Implications for reforestation and land restoration in Mesoamerica. **Forest Ecology and Management**. May 2011; 261: 1553-1557. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000290924400001 >.

HOMEM, M. das N. G. **Padrões fenológicos em ecossistemas em processo de restauração e em fragmento florestal vizinho**. [Dissertação] Mestrado em Ciência Florestal. Botucatu: Universidade

Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2011.

HOOPER, D. U. et al. A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change. **Nature**. Jun 2012; 486: 105-U129. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000304854000036 >.

IBGE, I. B. D. G. E. E. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 2012.

KATTGE, J. et al. TRY - a global database of plant traits. **Global Change Biology**. Sep 2011; 17: 2905-2935. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000293399000011 >.

KITAJIMA, K.; POORTER, L. Tissue-level leaf toughness, but not lamina thickness, predicts sapling leaf lifespan and shade tolerance of tropical tree species. **New Phytologist**. 2010; 186: 708-721, 2010. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000276617600018 >.

KITAJIMA, K.; CORDERO, R. A.; JOSEPH WRIGHT, S. Leaf life span spectrum of tropical woody seedlings: effects of light and ontogeny and consequences for survival. **Annals of Botany**, Aug 2013; 112: 685-699. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000322952500006 >.

KRAFT, N. J. B.; VALENCIA, R.; ACKERLY, D. D. Functional traits and niche-based tree community assembly in an amazonian forest. **Science**. Oct 2008; 322: 580-582. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000260299100041 >.

KUSHWAHA, C. P.; TRIPATHI, S. K.; SINGH, K. P. Tree specific traits affect flowering time in Indian dry tropical forest. **Plant Ecology**. Jun 2011; 212: 985-998. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000290687700005 >.

LAWRENCE, D. (2003). The response of tropical tree seedlings to nutrient supply: meta-analysis for understanding a changing tropical landscape. **Journal of Tropical Ecology**. 19(3): 239–250. Disponível em: doi:10.1017/S0266467403003274

LEBRIJA-TREJOS, E. et al. Functional traits and environmental filtering drive community assembly in a species-rich tropical system.

Ecology. Feb 2010; 91: 386-398. Disponível em: <<Go to ISI>://W OS: 000275816900011 >.

LEISHMAN, M. R., I. J. WRIGHT, A. T. MOLES, AND M. WESTOBY. The evolutionary ecology of seed size. In: FENNER M. (Ed.). **Seeds: The ecology of regeneration in plant communities**. 2ed. Wallingford: CAB International, 2002. p. 31-57.

LIU, X. et al. The environmental and space, not phylogeny, determine trait dispersion in a subtropical forest. **Functional Ecology**. 2013; 27: 264-272 p.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 4ed. v1. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. 384 p.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 2ed.v.1. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. 384 p.

MASON, N. W. H. et al. Functional Traits Reveal Processes Driving Natural Afforestation at Large Spatial Scales. **Plos One**. Sep 2013; 8. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000324695900100 >.

MARTINEZ-GARZA, C.; BONGERS, F.; POORTER, L. Are functional traits good predictors of species performance in restoration plantings in tropical abandoned pastures? **Forest Ecology and Management**. Sep 2013; 303: 35-45. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000321405600005 >.

MARTINEZ-GARZA, C. et al. Restoring tropical biodiversity: Leaf traits predict growth and survival of late-successional trees in early-successional environments. **Forest Ecology and Management**. Oct 2005; 217: 365-379. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS: 000232673200018 >.

MCGILL, B. J. et al. Rebuilding community ecology from functional traits. **Trends in Ecology & Evolution**. Apr 2006; 21: 178-185. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000237144500005 >.

MYERS, J.A.; HARMS, K.E. Seed arrival, ecological filters, and plant species richness: a meta-analysis. **Ecology Letters**. 2009; 1250–1260.

NOGUEIRA JUNIOR, L. R. Estoque de carbono na fitomassa e mudanças nos atributos do solo em diferentes modelos de restauração da Mata Atlântica. [Tese]. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-21102010093438/>>.

POORTER, L.; MARKESTEIJN, L. Seedling traits determine drought tolerance of tropical tree species. **Biotropica**. May 2008; 40: 321-331. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000255986600008 >.

R CORE TEAM (2014). R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna. Disponível em: <http://www.R-project.org>

RAMIREZ-VALIENTE, J. A. et al. Population variation and natural selection on leaf traits in cork oak throughout its distribution range. **Acta Oecologica-International Journal of Ecology**. Jul 2014; 58: 49-56. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000337871400007 >.

RÉ, D. S. Equações volumétricas e produção de madeira em plantios mistos visando à restauração da floresta estacional semidecidual. [Dissertação]. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2011.

ROADHES, C.C; ECKERT; G.E.; COLEMAN, D.C. Effect of pasture trees on soil nitrogen and organic matter: implications for tropical montane forest restoration. **Restoration Ecology**. Sep 2008; 6: 262-270.

RODRIGUES, R. R. et al. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation**. Jun 2009; 142: 1242-1251. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000266154000012 >.

SALDANA-ACOSTA, A.; MEAVE, J. A.; SANCHEZ-VELASQUEZ, L. R. Seedling biomass allocation and vital rates of cloud forest tree species: Responses to light in shade house conditions. **Forest Ecology and Management** Sep 2009; 258: 1650-1659. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000270152300072 >.

SALES-COME, R.; HOLSCHER, D. Variability and grouping of leaf traits in multi-species reforestation (Leyte, Philippines). **Forest Ecology and Management**. Jul 2010; 260: 846-855. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000280861200029 >.

SCHULTER, D. Ecology and the origin of species. **Trends in Ecology and Evolution**. 16: 372-380.

SIDDIQUE I., et al. Dominance of legume trees alters nutrient relations in mixed species forest restoration plantings within seven years. **Biogeochemistry**. 2008; 88:89-101. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10533-008-9196-5>

THORPE, A. S.; STANLEY, A. G. Determining appropriate goals for restoration of imperilled communities and species. **Journal of Applied Ecology**. Apr 2011; v. 48, n. 2, p. 275-279,. ISSN 0021-8901. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000288379000001 >.

TURNER, I. M.; CORLETT, R. T. The conservation value of small, isolated fragments of lowland tropical rain forest. **Trends in Ecology & Evolution**. Aug 1996; 11: 330-333. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:A1996UX90900009 >.

URIARTE, M. et al. Trait similarity, shared ancestry and the structure of neighbourhood interactions in a subtropical wet forest: implications for community assembly. **Ecology Letters**. Dec 2010; 13: 1503-1514. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000284369200006 >.

VENEKLAAS, E. J., POORTER, L. Growth and carbon partitioning of tropical tree seedlings in contrasting light environments. In: **Inherent variation in plant growth: physiological mechanisms and ecological consequences**. Leiden: Backhuys Publishers, 1998.

VIOLLE, C. et al. Let the concept of trait be functional. **Oikos**. May 2007; 116: 882-892. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000245814500017 >.

WHEELER, B. **lmPerm**: Permutation tests for linear models. Rpackage version 1.1-2. 2010. Disponível em: <http://CRAN.R-project.org/package=lmPerm>

WHITFELD, T. J. S. et al. Change in community phylogenetic structure during tropical forest succession: evidence from New Guinea. **Ecography**. 2012; 35(9): 821–830. Disponível em: doi:10.1111/j.1600-0587.2011.07181.x

ZANNE, A.E. **Adaptations to heterogeneous habitats: life history characters of trees and shrubs**. [Ph.D. Dissertation]. Gainesville: University of Florida, 2003. 140 p.

APÊNDICES

Apêndice A: Autores responsáveis pela medição dos atributos funcionais analisados nesse estudo. Alguns desses dados foram contribuídos pela *Plant Trait Database* TRY (Kattge et al., 2011) e outros foram compilados diretamente da literatura científica.

Atributo	Autores
Altura da planta	- Wirth & Lichstein, 2009. Old-Growth Forests Function, Fate and Value - Wright et al., 2007. <i>Annals of Botany</i> 99:1003-1015
Área foliar	- Craine et al., 2009. <i>New Phytologist</i> 183:980-992 - Royal Botanical Gardens. KEW 2008
Área foliar específica	- Onoda et al., 2011. <i>Ecology Letters</i> 14:301-312 - Penuelas et al., 2010. <i>Global Change Biology</i> 16:2171-2185 - Muller et al., 2007. <i>Plant Ecology</i> 189:1-14 - Poorter et al., 2009. <i>New Phytologist</i> 182:565-588 - Siddique et al., 2008. <i>Biogeochemistry</i> 88, 89–101
Armazenamento de semente	- Wright et al. 2011 <i>Ecology</i> 91:3664-3674
Capacidade de fixação de N ₂	- Craine et al., 2009. <i>New Phytologist</i> 183:980-992 - Siddique et al., 2008. <i>Biogeochemistry</i> 88, 89–101
Densidade básica	- Engel, V.L., informação pessoal.
Densidade do caule	- Wright et al. 2011 <i>Ecology</i> 91:3664-3674
Fenologia vegetativa	- Reich et al. 2009 <i>Oecologia</i> 160:207-212 - Markesteijn et al. 2011 <i>Plant, Cell and Environment</i> 34:137-148 - Siddique et al., 2008. <i>Biogeochemistry</i> 88, 89–101 - Shipley 2002 <i>Functional Ecology</i> 16:682-689 - Meziane & Shipley 1999 <i>Functional Ecology</i> 13:611-622 - McKenna & Shipley 1999 <i>Ecoscience</i> 6:286-296
Folhas compostas	- Green 2009 http://bricol.net/downloads/data/PLANTSdatabase Onoda, Y.; Poorter, L.; Wright, I; Wright, S.J. - Lorenzi, 2002, <i>Árvores brasileiras</i> .

Fósforo foliar	<ul style="list-style-type: none"> - Messier et al. 2010 Ecology Letters 13:838-848 - Moles et al. 2004 Journal of Ecology 92:384-396 - Moles et al. 2005 Science 307:576-580 - Moles et al. 2005 PNAS 102:10540-10544 - Moles et al. 2004 Journal of Ecology 92:384-396
Massa de semente	Wright et al. 2011 Ecology 91:3664-3674
Matéria foliar seca	<p>Green 2009 http://bricol.net/downloads/data/PLANTSdatabase Messier, J.; L. Poorter; Wright, S. J.</p>
Nitrogênio foliar	<ul style="list-style-type: none"> - Kattge et al. 2009 Global Change Biology 15:976-991 - Kirkup et al. 2005 Taxon 54:457-466 - Fyllas et al. 2009 Biogeosciences 6:2677-2708 - Baker et al. 2009 Biogeosciences 6:297-307 - Patiño et al. 2009 Biogeosciences 6:545-568
Síndrome de dispersão	<ul style="list-style-type: none"> - Craine et al. 2009 New Phytologist 183:980-992 - Carvalho, P.E.R., 2003-2010, EMBRAPA. - Lorenzi, 2002, Árvores brasileiras.

Apêndice B: Número de espécies com dados de atributos funcionais e selecionados a partir do critério de seleção mínimo de sete espécies.

Atributo	Abreviação	Nº de espécie - TRY	Nº de espécie - literatura	Incluído
Altura vegetativa	Pl.height	17	49	Sim
Área foliar	Lf.area	13		Sim
Área foliar específica	SLA	15		Sim
Armazenamento da semente	Sd.Sto	22		Sim
Capacidade de fixação de nitrogênio	N ₂ fix	13		Sim
Capacidade de regeneração vegetativa	x	1		Não
Carbono foliar	Lf.carbon	4		Sim
Conteúdo de proteína na semente	x	3		Não
Densidade básica	Dbas	57		Sim
Densidade do caule	SSD	15	3	Sim
Espessura foliar	x	5		Não
Fenologia reprodutiva	x	3		Não
Fenologia vegetativa	PhenoVeg	15		Sim
Folhas compostas	Lf.Comp	16	38	Sim
Fósforo foliar (por área)	Pfoliar	7		Sim
Fósforo foliar (por massa seca)	Phosp.area	10		Sim
Massa de semente	Seed.mass	17		Sim

Matéria seca foliar	LDMC	8	Sim
Nitrogênio foliar (por área)	N ₂ .area	4	Não
Nitrogênio foliar (por massa seca)	Nfoliar	22	Sim
Potássio foliar	Kfoliar	4	Não
Profundidade de raízes	x	3	Não
Proporção carbono e nitrogênio foliar	x	1	Não
Proporção nitrogênio e fósforo foliar	N:P	7	Sim
Resposta da planta pós-distúrbio	x	3	Não
Rota fotossintética	x	7	Sim
Síndrome de dispersão	Disp.Synd	9	Sim
Tipo de micorriza	x	12	Não
Tipo foliar	x	9	Não
Tipo funcional (estágio sucessional)	x	2	Não
Tolerância à sombra	x	3	Não
Tolerância da planta à seca	x	3	Não
Vida útil da planta	x	5	Não
Vida útil foliar	Lf.lifespan	7	Sim

Apêndice C: *Akaike Information Criterion* (AIC) dos modelos alternativos referentes a cada atributo funcional com dados disponíveis de pelo menos sete espécies: Modelo nulo (identidade das espécies como preditor) *versus* modelo alternativo com o atributo funcional como preditor (com ou sem interação o tratamento de consórcio de restauração). Para os modelos em que o tratamento não foi significativo, essa categoria foi retirada do modelo como preditor e feita uma nova análise.

Atributo	AIC			Tratamento (consórcio de restauração)	Observações
	Nulo	Sem interação	Com interação		
Nfoliar	1846,64	1889,25	1893,533	Significativo	
GrSuc	3541,38	3581,61	3581,607	Não significativo	
Dbas	3686,58	3733,25	3735,678	Significativo	
Sd.Stor	2062,79	2123,64	2123,636	Não significativo	Modelo com menos preditores, maior AIC
N ₂ fix	1667,91	1672,32	1675,723	Significativo	Tratamento não foi significativo com interação; Interação não significativa
Phen.Veg	1273,39	1292,40	1294,13	Significativo	Tratamento não foi significativo sem interação; Interação não significativa
Lf.comp	3408,98	3437,02	3437,019	Não	Tratamento significativo no modelo nulo

				significativo	
SSD	1123,26	1157,29	1157,286	Não significativo	
Pl.height	3717,24	3769,41	3773,783	Significativo	
Sd.mass	1667,08	1707,23	1707,232	Não significativo	
Larea	799,79	834,78	834,7827	Não significativo	
SLA	1195,56	1223,88	1224,547	Significativo	Tratamento significativo com interação
Lf.lifespan	401,70	400,17	401,66	Sem resultado	Tratamento tendendo a significativo
Pfoliar	864,16	872,43	873,159	Sem resultado	Atributo significativo no modelo sem interação
Disp.synd	709,23	741,95	743,5332	Significativo	Modelo com menos preditores, maior AIC
LDMC	601,19	618,59	601,6	Significativo	Todos significativos no modelo com interação
N:P	487,97	484,23	487,69	Significativo	Tratamento significativo sem interação
Parea	470,77	476,78	476,78	Não significativo	Resultados significativos apenas no modelo sem tratamento
