

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Potencial de espécies nativas para a produção de madeira serrada
em plantios de restauração florestal**

Carina Camargo Silva

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências, Programa: Recursos
Florestais. Opção em: Conservação de
Ecossistemas Florestais

**Piracicaba
2013**

Carina Camargo Silva
Engenheira Florestal

**Potencial de espécies nativas para a produção de madeira serrada em plantios
de restauração florestal**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **PEDRO HENRIQUE SANTIN BRANCALION**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências, Programa: Recursos Florestais.
Opção em: Conservação de Ecossistemas Florestais

**Piracicaba
2013**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Silva, Carina Camargo

Potencial de espécies nativas para a produção de madeira serrada em plantios de restauração florestal / Carina Camargo Silva.- - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2013.

99 p: il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2013.

1. Reflorestamentos de espécies nativas 2. Restauração ecológica 3. Silvicultura tropical 4. Tratamentos silviculturais I. Título

CDD 634.956
S586p

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

*Aos meus pais, Antonio e Maria,
que me ensinaram que as conquistas são frutos da
humildade, honestidade, força de vontade e trabalho.*

*E ao Felipe, com quem reaprendo, todos os dias,
cada ensinamento obtido com meus pais.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à CAPES, pela concessão da bolsa de estudos e ao CNPQ, pelos recursos destinados ao projeto temático 561897/2010-7, no qual este trabalho esteve envolvido.

Ao meu orientador, Pedro Brancalion, por toda a confiança e dedicação à minha pesquisa e à minha formação científica e profissional. Realmente, seu entusiasmo é contagiante e torna nosso ambiente de trabalho muito mais amigável e estimulante! Sou muito grata (e orgulhosa!) por ser sua “primogênita científica” e espero sempre ter toda essa disposição para atender à todas as dúvidas, angústias e inquietações de meus futuros orientados.

Ao professor Ricardo Rodrigues, por todo o apoio a este trabalho e pela confiança depositada, desde os tempos da graduação. Certamente esta dissertação é fruto dessa confiança, pois foi a visão crítica e incentivadora dos professores Ricardo e Pedro que despertaram meu interesse pela pesquisa na restauração florestal e pelo universo científico que a envolve.

Aos parceiros que viabilizaram as coletas de dados em campo, com o apoio de suas instituições: Sr. Manoel Moura e equipe da Fazenda Santana do Monte Alegre; Sr. João Machado e Miguel Magela (Parque Florestal São Marcelo - International Paper / Mogi-guaçú); Sergio Sotta (Usina São João); Giselda Durigan (Instituto Florestal / Fazenda Cananeia); Rosa Maria Galera (Estação Experimental de Tupi); Sergio Christofolletti (Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade); Rogerio Ferreira (Duke Energy) e Thiago Roncon; e equipe da Estação Experimental Ciências Florestais de Anhembi.

À minha família por todo o apoio e incentivos em todos esses anos longe de casa. Aos meus pais, por serem meus maiores exemplos nessa vida e por terem me ensinado, desde cedo, a maneira mais fácil de se conquistar aquilo que se deseja: dedicação, força de vontade e coragem para trabalhar e enfrentar os desafios que a vida nos propõe! Vocês são os culpados disso tudo!! Muito obrigada pela confiança!! E agradeço também às minhas irmãs, Bru e Mandi, por toda a amizade e amor em todos os momentos de nossas vidas, e pela união que não nos separa por nada nesse mundo!! Às minhas princesas, Sarah e Jade, por tornarem meus finais de semana muito mais divertidos e por alimentarem nessa tia a esperança de um mundo mais puro, inocente e sem maldades!

Agradeço especialmente ao Felipe, por todo o amor, companheirismo, compreensão, incentivos, dedicação e paciência em todos esses anos de graduação e pós-graduação. Sem seu apoio eu não teria conseguido. A distância não nos venceu e, finalmente, conseguimos!!

Aos sogros D. Vera e Sr. Tião, família que me adotou como filha e que sempre torceu pelas minhas conquistas! E aos cunhados Jorge e Hugo, que há muito tempo se tornaram os irmãos que sempre desejei ter!!

À toda a equipe do LERF: Ariadina, Simone, Isa, Mari, Cris, Vanessa, Vilinha, Rafa, Marina, Diana, Andreia, Julia e Ana(s) Paula(s), por tornarem esses anos de convivência muito mais interessantes e, digamos, muito mais femininos!!

Essa mulherada é mesmo “arretada”!! E, claro, também à ala masculina deste laboratório: Pinus, Fabiano, Prof. Sergius, André, Fausto, Henrique, Chico e Vande.

À Cris e Mari, especialmente, as mulheres mais agilizadas desse mundo, por todo o apoio frente às questões burocrático-financeiras do projeto CNPq.

À equipe do LASTROP, que apesar da pouca convivência física, sempre incentivou e ofereceu o maior apoio par desenvolvimento desta pesquisa.

Aos incontáveis ajudantes de campo, os quais sem a disposição para enfrentar os carrapatos e os sanduíches improvisados no campo, seria quase impossível finalizar as coletas de dados: Vanderlei Miranda (Vande), Frederico (Pega-bola), Luísa Nougali, Guilherme (Naubert), Felipe (Frutili), Lucas Sanglade, Bruno (Nélio), Fernanda (Vaiq), Fábio Consoni, Érica Santos, Rafa Naves, Ricardo (Xaulim), Mariana Bettinardi, Ana (Ieiê), João Pedro, Tales, Simone, Ariadina, Giovana Indiani, Jean, Bruna, Rodrigo, Manoela, Tui, Gessika e Valdir.

Ao Matheus Nunes, por todo o apoio e colaboração na análise dos dados e pelo grande esforço e tempo dedicados, além da paciência, disposição e animação em responder às minhas dúvidas sobre a interpretação dos resultados.

Aos floresteiros queridos, desde sempre presentes em todos os momentos de convívio em Piracicaba: Daniela Luz (Lãparina), Danitiele Laranja (Vulevu), Mariana Dias (Koxonét), Lara Garcia (Jãgada), Flavia Schmidt (Farofa), Ricardo Cesar (Xau-lim), Rodrigo Hartkoff (Aufred), João Ricardo (Boliño).

À Lãparina, especialmente, por toda a amizade e companheirismo nesses quase oito anos de ESALQ, e por todas as alegrias e angústias que partilhamos nesse período. Lãpa, missão dada, missão cumprida!! Yes, we can!!

Especialmente, ainda, à Koxonét, Jãgada e Farofa, por disponibilizarem sua casa e me acolherem, principalmente na etapa final de redação da dissertação.

Aos funcionários dos Laboratórios de Análises Químicas e Análises Físicas do Departamento de Ciências do Solo da ESALQ: Luiz da Silva Junior e Jair Ferrer da Silva.

À equipe do Programa de Pós-graduação em Recursos Florestais, especialmente à Giovana, por todas as dúvidas solucionadas sempre da maneira mais ágil e simpática.

E a todos que contribuíram de alguma forma para a idealização, execução e finalização desta pesquisa.

MUITO OBRIGADA!!

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT	11
1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Desafios e oportunidades da restauração ecológica de florestas tropicais	15
2.2 Origem, consumo e produção de madeira nativa em florestas tropicais	16
2.3 A restauração florestal como fonte de madeira tropical	18
3 MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1 Áreas de estudo	21
3.2 Espécies avaliadas.....	26
3.3 Avaliação silvicultural dos indivíduos	32
3.4 Amostragem dos indivíduos	33
3.5 Amostragem de solo	36
3.6 Análise dos dados	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
4.1 Crescimento das espécies selecionadas sob condições atuais de plantios de restauração florestal.....	39
4.1.1 Fatores ambientais x Modelagem diamétrica	39
4.1.2 Modelagem da produção diamétrica	42
4.1.3 Estimativas dos ciclos de produção por espécie	48
4.1.4 Modelagem do crescimento para a altura total.....	52
4.1.5 Modelagem do crescimento para a altura comercial	55
4.1.6 Comportamento silvicultural das espécies estudadas.....	61
4.2 Desenvolvimento das espécies selecionadas sob melhores condições de crescimento e manejo em plantios de restauração florestal.....	65
4.2.1 Modelagem da produção diamétrica potencial	66
4.2.2 Estimativas dos ciclos de produção potencial por espécie.....	70
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
6 IMPLICAÇÕES PRÁTICAS	79
REFERÊNCIAS.....	83
ANEXOS	89

RESUMO

Potencial de espécies nativas para a produção de madeira serrada em plantios de restauração florestal

Existe hoje uma crescente demanda global por ações de restauração de florestas tropicais e um dos principais entraves para a sua concretização é a viabilidade econômica dos projetos. Em cenários em que a restauração ecológica exige a implantação de reflorestamentos de espécies nativas, a produção de madeira torna-se uma alternativa importante para viabilizar economicamente a atividade, tornando-se um meio para atingir o objetivo final da restauração do ecossistema. A carência de conhecimentos técnico-científicos sobre o potencial de produção das espécies nativas em reflorestamentos é, no entanto, um entrave significativo para a sua aplicação em larga escala. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo a avaliação do potencial de espécies nativas para a produção de madeira serrada em plantios de restauração florestal. Para isso, avaliou-se o crescimento de 16 espécies nativas com potencial para produção de madeira serrada em 13 reflorestamentos mistos, com idades entre 6 e 96 anos, localizados no domínio da Floresta Estacional Semidecidual no interior do estado de São Paulo. Essas espécies foram avaliadas quanto ao crescimento em diâmetro real, diâmetro potencial, altura total e altura comercial através da modelagem destes parâmetros por técnicas de regressão linear múltipla. Tais modelos foram gerados a partir da correlação existente entre a idade do reflorestamento, o fator ambiental mais influente (relacionado ao solo e clima) e o parâmetro analisado, obtendo-se as perspectivas de desenvolvimento de cada espécie em cenários de baixa, moderada e alta produtividade de sítio. Foram estimadas as projeções do crescimento diamétrico considerando-se todos os indivíduos de cada espécie amostrados nos reflorestamentos, bem como a partir dos 25% melhores indivíduos, visando-se estimar o potencial de crescimento das espécies em condições mais favoráveis de manejo silvicultural. Foi realizada uma análise descritiva das variáveis qualitativas avaliadas em campo (número de fustes, qualidade da árvore e nível de exposição à luz), associadas às alturas total e comercial, verificando-se se as relações existentes entre estes parâmetros são capazes de orientar propostas de manejo silvicultural adequado para as espécies. Várias das espécies nativas estudadas, principalmente *Cariniana legalis* e *C. estrellensis*, apresentaram potencial satisfatório de produção de madeira serrada em plantios de restauração florestal, principalmente em condições ambientais favoráveis e se submetidas a manejo silvicultural adequado. No entanto, mesmo sob condições favoráveis, algumas espécies apresentaram crescimento excessivamente lento, desestimulando seu plantio para a produção de madeira. O ciclo de produção de madeira esperado para cada espécie foi muito variável em função das condições ambientais da área em restauração, reforçando a importância de escolha orientada de espécies para cada condição de sítio, do preparo adequado do solo e da consideração dessas condições ambientais para definir os modelos de restauração para fins de exploração de madeira. Da mesma forma, a maior parte dos indivíduos encontrava-se dominada na estrutura da floresta, reforçando a importância do espaçamento, da composição de espécies na vizinhança e de desbastes no potencial de produção de madeira.

Palavras-chave: Reflorestamentos de espécies nativas; Restauração ecológica; Silvicultura tropical; Tratamentos silviculturais

ABSTRACT

Potential of natives species to produce timber in forest restoration plantings

There is a growing demand today for tropical forest restoration efforts, and one of the main barriers for accomplishing this demand is the economic viability of the projects. In scenarios where ecological restoration requires the implementation of native species plantings, the exploitation of timber can be an important alternative to make restoration financially viable, as a way to achieve the ultimate goal of the restoration of the ecosystem. The lack of technical and scientific knowledge about the potential of timber production by native species in reforestation is, however, an important obstacle for applying this alternative at the large scale. In this context, we evaluated the growth of 16 native species with potential for timber production in 13 restoration plantings, with ages ranging between 6 and 96 years, located at the Seasonal Semideciduous Forest of inland São Paulo State, southeastern Brazil. These species were evaluated regarding their growth in real and potential diameter, as well their total and commercial height, by modeling these parameters through multiple linear regressions. These models were generated based on the correlation among the age of the restoration planting, the most influent environmental factor (related to climate and soil) and the analyzed parameters, allowing us to obtaining the perspectives of growth for each species in scenarios of low, moderate and high site productivity. We established projections of growth in diameter considering all individuals sampled for each species in the reforestations, as well as the best 25% individuals, as means of estimating the potential growth of each species in more favorable scenarios of silvicultural management. We carried out a descriptive analysis of the qualitative variables evaluated in the field (number of boles, quality of the tree and exposition to sun light), which were associated to the total and commercial heights, to verify if the relationship between these parameters may guide proposals of suitable silvicultural management for these species. Many of the studied species, especially *Cariniana legalis* and *C. estrellensis*, showed a satisfactory potential of timber production in restoration plantings, mainly in more favorable site conditions and under adequate silvicultural treatments. However, even under favorable conditions, some species presented growth rates excessively slow, which discourage their planting for timber production. The expected cycle of timber production for each species was highly variable according to the environmental characteristics of the site, thus reinforcing the importance to guide the selection of species for each site condition, to accomplish a suitable soil preparation before planting and to consider these site conditions for designing models of restoration for timber exploitation. In addition, most trees were dominated in the forest structure, which reinforces the importance of spacing, species composition of the vicinity and thinning in the potential of timber production.

Keywords: Ecological restoration; Native species reforestation; Silvicultural treatments; Tropical forestry

1 INTRODUÇÃO

As florestas tropicais se destacam como os mais importantes centros de biodiversidade no planeta, representando uma importante fonte de bens e serviços ecossistêmicos essenciais para o bem estar da população presente na região tropical, bem como para toda a humanidade.

Por sua vez, a Mata Atlântica se destaca como um dos biomas com maiores níveis de biodiversidade dentre os ecossistemas terrestres do mundo. Seu histórico de degradação e desmatamento é amplamente conhecido, estando diretamente vinculado à colonização e ao desenvolvimento do Brasil. Desde a fase colonial, a Mata Atlântica tem gerado uma série de produtos madeireiros e não-madeireiros de suma importância para a economia e desenvolvimento social e econômico do país, somados aos imprescindíveis serviços ambientais prestados pelas florestas aos 70% da população brasileira residente sob os domínios do bioma.

Para reverter esse quadro, iniciativas pioneiras de restauração ecológica têm sido executadas nas últimas décadas. Contudo, aspectos socioeconômicos ainda restringem a expansão das ações de restauração, sendo necessário o desenvolvimento de modelos recuperação de florestas que sejam economicamente viáveis e com grande valor social implícito. Uma primeira opção consiste na adoção de estratégias e metodologias que reduzam o custo da restauração, o que na maior parte dos casos pode ser uma alternativa viável em áreas com maior resiliência. Outra opção consiste no desenvolvimento de modelos de restauração que gerem renda para o produtor rural, o que pode ser obtido por meio da exploração de produtos florestais madeireiros e não madeireiros a partir da floresta em restauração, bem como pelo pagamento por serviços ambientais. Assim, espera-se que as áreas em restauração possam não só cobrir seus custos de implantação e manutenção, como também possam dar lucro, superando o custo de oportunidade de uso do solo da pecuária extensiva, que ocupa cerca de 75% da área agrícola do país e a maior parte das áreas degradadas com necessidade de restauração florestal. Nesse contexto, a implantação de plantios mistos de espécies nativas para a produção de madeira tropical tem se destacado como uma das alternativas mais promissoras para garantir o custeio da restauração, bem como o suprimento de madeira tropical para o mercado consumidor nacional e internacional.

No entanto, atualmente, há uma demanda significativa de conhecimento, ainda longe de ser suprida, sobre modelos de restauração florestal planejados para a exploração de madeira. Tais modelos são recomendados de forma genérica para a recomposição de áreas degradadas ou de baixa aptidão agrícola, apesar da falta de conhecimento técnico-científico para orientar esses trabalhos ou para estimar a rentabilidade econômica dos mesmos – informação fundamental para convencer produtores rurais a adotarem tais modelos.

Assim, essas carências básicas de conhecimento precisam ser urgentemente supridas para o melhor planejamento de modelos de restauração focados na produção madeireira de espécies nativas. Para suprir essa demanda, os reflorestamentos antigos de espécies nativas – desenvolvidos ao longo do último século – com diferentes idades e estágios da restauração florestal se apresentam como uma fonte de valiosas informações para a elaboração de modelos viáveis de silvicultura de nativas, facilitando a escolha de espécies adequadas, o estabelecimento de ciclos de exploração e também a proposição de ações de manejo necessárias para que se obtenha maior quantidade e qualidade da madeira comercial produzida para diferentes usos.

Assim, a fim de contribuir para a geração dessas informações, utilizou-se como estudo de caso a avaliação do potencial de produção de madeiras nativas em plantios de restauração da Mata Atlântica brasileira no Estado de São Paulo, particularmente na região de Floresta Estacional Semidecidual. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi avaliar o potencial de espécies nativas madeireiras, considerando condições atuais e mais favoráveis de crescimento e manejo silvicultural, para a produção de madeira serrada em plantios de restauração florestal, buscando responder às seguintes questões:

I. Qual o potencial de espécies nativas madeireiras, considerando condições atuais de crescimento e manejo silvicultural, para a produção de madeira serrada em plantios de restauração florestal?

II. Qual o potencial de espécies nativas madeireiras, considerando condições mais favoráveis de crescimento e manejo silvicultural, para a produção de madeira serrada em plantios de restauração florestal?

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Desafios e oportunidades da restauração ecológica de florestas tropicais

Atualmente existe uma demanda global por ações de restauração de florestas tropicais. A restauração ecológica tem avançado rapidamente nas últimas décadas e recebido cada vez mais destaque na ciência e na sociedade, sendo apontada como uma das soluções mais importantes para a crise ambiental que afeta o mundo de hoje (ARONSON; ALEXANDER, 2013; CLEWELL; ARONSON, 2007) e representa, ainda, uma importante estratégia para a conservação das florestas naturais remanescentes se associada aos interesses socioeconômicos locais (BIRCH et al., 2010; PLATH et al, 2011; PAQUETTE; MESSIER, 2010).

Apesar do grande potencial transformador da paisagem e de melhoria da provisão de serviços ecossistêmicos que a restauração ecológica apresenta (BIRCH et al., 2010; REY BENAYAS et al., 2009; RODRIGUES et al., 2011; SCHEDLBAUER; KAVANAGH, 2008), sua aplicação em larga escala depende diretamente da geração e consolidação do conhecimento científico e do desenvolvimento de tecnologias apropriadas ao contexto ecológico e socioeconômico de cada região (MENZ; DIXON; HOBBS, 2013; MERRIT; DIXON, 2011), além da implementação de políticas públicas eficientes e amplamente aplicáveis (PIOTTO et al., 2010; RODRIGUES et al., 2011). Assim, embora tenha sido dedicado um grande esforço para a concretização efetiva das ações de restauração ecológica em todo o mundo (CHAZDON, 2008), muito ainda deve ser feito para que se atinja a meta proposta pela International Union for Conservation of Nature (IUCN) e pelo Desafio de Bonn sobre Florestas, Mudanças Climáticas e Biodiversidade, de se restaurar 150 milhões de hectares de ecossistemas degradados até 2020 (MENZ; DIXON; HOBBS, 2013).

Um dos principais entraves para a concretização dessa demanda e cumprimento de tais metas é a viabilidade econômica dos projetos, dado o custo elevado e a falta de perspectiva de retorno financeiro dos atuais projetos de restauração florestal (BIRCH et al., 2010; BRANCALION et al., 2012; HOLL; HOWARTH, 2000). Esse entrave é ainda mais acentuado em países em desenvolvimento, nos quais se concentram os maiores hotspots de biodiversidade para florestas tropicais, associados a obstáculos socioeconômicos significativos (ARONSON; ALEXANDER, 2013; NAGENDRA, 2007; RODRIGUES et al., 2011).

Nesses países, grande parte da população vive ainda em ambientes rurais e dependem diretamente dos recursos naturais para a sua sobrevivência (BIRCH et al., 2010; LAMB; ERSKINE; PARROTTA, 2005; NAGENDRA, 2007).

Essa dependência dos recursos naturais em tais países corrobora para o desencadeamento de processos intensos de desmatamentos e degradação ambiental, provocando a redução drástica da resiliência dos ecossistemas degradados. Em muitos casos, isso inviabiliza a prática da restauração florestal passiva, sendo necessários onerosos investimentos com reflorestamentos de espécies nativas para que seja possível o desenvolvimento de uma estrutura florestal capaz de favorecer os processos de sucessão ecológica (CHAZDON, 2008; ERSKINE; LAMB; BRISTOW, 2006; HOLL; AIDE, 2011; LAMB; ERSKINE; PARROTTA, 2005; RODRIGUES et al., 2009).

Nesse cenário, as relações de custo-efetividade da restauração se tornam ainda mais críticas (BIRCH et al., 2010; HOLL; AIDE, 2011), tornando essa atividade menos atrativa para agricultores e proprietários rurais (LAMB; ERSKINE; PARROTTA, 2005). Com isso, o desenvolvimento de estratégias e modelos para reduzir os custos e prover renda a partir da restauração torna-se imprescindível para o sucesso dos programas de larga-escala em todo o mundo (ENGEL; PARROTTA, 2001; RODRIGUES et al., 2009).

2.2 Origem, consumo e produção de madeira nativa em florestas tropicais

Existe uma perspectiva crescente de declínio das florestas tropicais no mundo, gerada pelo intenso processo de desmatamento e superexploração madeireira (BRADSHAW; GIAM; SODHI, 2010; FAO, 2012; NAGENDRA, 2007), apesar da possibilidade de ampliação da produção agrícola sem a necessidade de destruição das florestas remanescentes (MACEDO et al., 2012). Esse fenômeno tem reduzido a oferta de madeira tropical no mercado, o que tem valorizado cada vez mais as madeiras de espécies nativas de crescimento lento, cujos preços tendem a permanecer em alta devido à intensa demanda consolidada e crescente em diversos setores econômicos (BRANCALION et al., 2012; FAO, 2012; FUJIHARA et al., 2009; LAMB; ERSKINE; PARROTTA, 2005).

Historicamente, a exploração de madeira tropical no mundo tem se sustentado no desmatamento (FAO, 2012). No entanto, este cenário tende a sofrer

mudanças, visto que há uma expectativa de crise de suprimentos do mercado madeireiro com a redução do desmatamento em muitos países (FAO, 2010, 2012), o qual pode ser ocasionado pelo fim dos estoques de floresta no sudeste asiático e na África (FAO, 2010), pelo fortalecimento de políticas públicas conservacionistas (ITTO, 2011; NEPSTAD et al., 2009; RODRIGUES et al., 2009) – como no caso da Amazônia brasileira em que as taxas de desmatamento caíram cerca de 80% nos últimos anos (TOLLEFSON, 2008) – ou ainda pelo visível crescimento da demanda global por madeira e produtos oriundos de manejo florestal sustentável e/ou certificado por intuições internacionais (FAO, 2012; FERNANDEZ et al., 2012; FUJIHARA et al., 2009; ITTO, 2011).

Estudos demonstram que as plantações florestais mistas para a produção de madeira são um dos poucos meios pelos quais grandes áreas abertas ou paisagens degradadas podem ser reflorestadas em grandes extensões (CHAZDON, 2008; LAMB, 1998; LAMB; ERSKINE; PARROTA, 2005), proporcionando um grande potencial de incremento da biodiversidade local e regional e proporcionando uma função socioeconômica para a floresta, diminuindo a pressão sobre as florestas nativas (BRIENZA JÚNIOR et al., 2008).

Nesse sentido, a destruição e superexploração das florestas nativas criou condições econômicas favoráveis para a produção de madeira de espécies tropicais em reflorestamentos voltados para a restauração ecológica, oferecendo segurança econômica ao mesmo tempo em que catalisa os processos sucessionais no sítio em processo de restauração (BRANCALION et al., 2012; RODRIGUES et al., 2009).

Esta atividade torna-se ainda mais oportuna quando é associada aos rendimentos gerados por programas de pagamento por serviços ambientais (BRANCALION et al., 2012; STANTON et al., 2010; WUNDER, 2006), manejo e geração de produtos florestais não-madeireiros (BRANCALION et al., 2012; FAO, 2012; FUJIHARA, 2009), bem como pela adoção de sistemas agroflorestais nas fases iniciais do crescimento da floresta (CHAZDON, 2008; VIEIRA; HOLL; PENEIREIRO, 2009), gerando renda, reduzindo custos com o manejo, facilitando o recobrimento/sombreamento do solo, oferecendo usos múltiplos da floresta e superando obstáculos ecológicos e socioeconômicos nessa fase de transição de uma área aberta para uma fisionomia florestal (HOLL; AIDE, 2011; FUJIHARA, 2009; VIEIRA; HOLL; PENEIREIRO, 2009).

2.3 A restauração florestal como fonte de madeira tropical

Diante do contexto apresentado anteriormente, uma valiosa oportunidade de mercado para a produção de madeira tropical em plantios de restauração é criada pela redução da oferta oriunda da destruição de florestas e aumento da demanda resultante do crescimento populacional e melhoria das condições de vida das pessoas (CALMON et al., 2011; RODRIGUES et al., 2011). Assim, a produção de madeira tropical poderia ser adotada como um meio para se atingir o fim da restauração florestal.

Por outro lado, os conhecimentos sobre a produção de madeira tropical em plantios mistos são ainda muito limitados, o que fomenta a percepção por parte dos proprietários rurais de que plantações florestais de espécies nativas sejam uma atividade de risco, uma vez que definem investimento de longo prazo (GAREN et al., 2009; LAMB; ERSKINE; PARROTTA, 2005; PLATH et al., 2011), ao passo que o plantio de espécies exóticas de rápido crescimento é favorecido.

Assim, a primeira informação básica necessária para convencer um produtor rural a plantar espécies madeireiras nativas em modelos de restauração, ao invés de plantios puros de espécies exóticas, é a capacidade de crescimento dessas espécies, os ciclos de corte esperados e o volume de madeira que pode ser obtido a partir desses ciclos de exploração.

A ausência da disponibilidade dessas informações acaba por incentivar o maior interesse desses produtores pelas plantações de espécies exóticas, devido à maior disponibilidade de conhecimento sobre as espécies (PIOTTO et al., 2003; PLATH et al., 2010). Por exemplo, cerca de 98% das plantações florestais no Brasil voltadas para a produção de madeira são de espécies exóticas, principalmente eucalipto (67%) e pinus (26%) (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2010). A espécie nativa mais plantada para madeira no país, o paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*) responde por apenas 1,3% da área plantada (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2010). As espécies florestais exóticas são favorecidas, em detrimento das nativas, por normalmente apresentam taxas de crescimento elevadas, propriedades da madeira melhor conhecidas, madeira e/ou frutos mais facilmente comercializáveis em cadeias produtivas já estabelecidas, informações sobre sua silvicultura facilmente encontradas, e programas de melhoramento genético bem estabelecidos, o que estimula que o produtor rural adquira um pacote

tecnológico, com um risco econômico mais baixo (LAMB, 1998). Por esse motivo, novas abordagens e metodologias devem ser desenvolvidas para garantir que reflorestamentos heterogêneos de espécies tropicais nativas sejam atrativos aos proprietários rurais (LAMB; ERSKINE; PARROTTA, 2005; PLATH et al., 2011).

Em contrapartida, alguns estudos têm afirmado que plantações florestais heterogêneas podem ser tão ou até mais produtivas quanto plantações monoculturais (ERSKINE; LAMB; BRISTOW, 2006; PIOTTO et al., 2010; PLATH et al., 2010). Isso porque plantações biodiversas são capazes de utilizar os recursos limitantes do ecossistema com maior eficiência (devido à uma maior diversidade de atributos ecológicos e partição de nichos), o que representa uma maior produtividade primária líquida e reflete em maiores volumes de madeira produzida, caso a floresta seja bem manejada (KANOWSKI; CATTERALL, 2010). Adicionalmente, o uso de espécies facilitadoras (como as fixadoras de nitrogênio) melhoram as condições de crescimento das demais, aumentando a produção total do plantio.

Além disso, é fundamental avaliar quais das espécies tipicamente exploradas em florestas nativas apresentam maior potencial para a produção em plantios de restauração. Isso porque sabe-se que, em condições de plantios, o comportamento silvicultural e ecológico das mesmas pode diferenciar-se dos padrões conhecidos para florestas naturais, principalmente pelo fato dessas espécies ainda não terem sofrido nenhum processo de domesticação, o que fortalece ainda mais a importância do estabelecimento de plantios heterogêneos, já que o aumento da diversidade de espécies reduz os riscos causados pelo ataque de pragas, conciliando os interesses econômicos e ecológicos aos esforços de restauração (BRANCALION et al., 2012; RODRIGUES et al., 2009).

Somado a isso, as condições ambientais de regeneração das espécies tipicamente madeireiras são muito diferentes entre plantios de restauração e florestas nativas, em virtude da incidência de luz na fase juvenil da planta. Assim, muitas espécies reconhecidas por possuírem fuste com boa forma para uso como madeira serrada podem se apresentar fustes tortuosos ou mesmo excessivamente ramificados em plantios de restauração. Adicionalmente, algumas espécies reconhecidas pela qualidade de sua madeira podem ter sua produção restringida pelo crescimento muito lento, inviabilizando o cultivo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Áreas de estudo

Este estudo foi desenvolvido em treze reflorestamentos em processo de restauração ecológica, sendo todos localizados no interior do estado de São Paulo (Figura 1), nos municípios de Anhembi (6 anos), Mogi-guaçu (10 e 18 anos), Descalvado (11 anos), Araras (13 anos), Rosana (23 anos), Tarumã (23 anos), Iracemápolis (24 anos), Cândido Mota (30 e 40 anos), Piracicaba (60 anos), Cosmópolis (57 anos) e Rio Claro (96 anos).

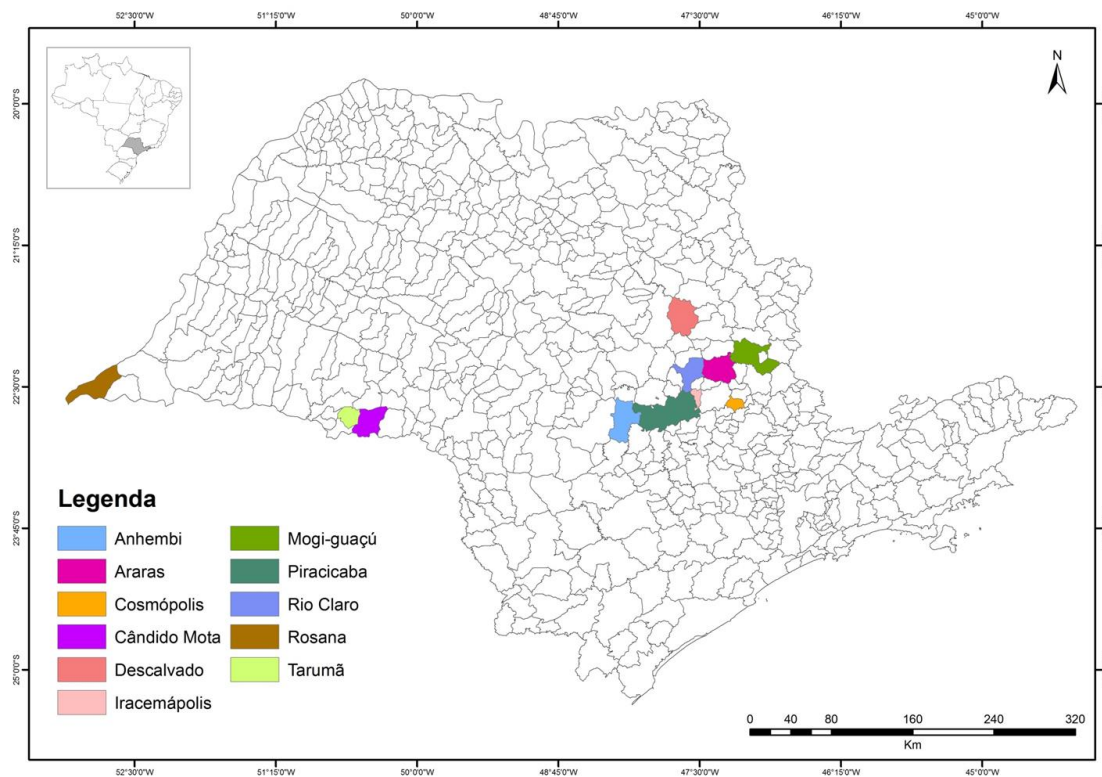


Figura 1 – Municípios onde estão localizados os treze reflorestamentos estudados, no estado de São Paulo, para avaliação do potencial de espécies nativas para produção de madeira serrada (Fonte: IBGE, sistemas de coordenadas GCS South America 1969)

Estes reflorestamentos se encontram sob o domínio fitofisionômico da Floresta Estacional Semidecidual do Bioma Mata Atlântica e representaram diferentes fases do desenvolvimento silvicultural e ecológico de plantios voltados para a restauração ecológica, o que define um aspecto geral da vegetação peculiar a cada uma dessas fases, conforme pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Características dos treze reflorestamentos estudados no interior do estado de São Paulo

(continua)

Código	Município	Ano de Implantação	Idade (Anos)	Área (ha)	Coordenadas	Vegetação
ANB	Anhembi	2006	6	3,9	22°42'20"S 48°10'01"O	Trata-se de um talhão experimental de 150 x 300 m, às margens do Rio Tietê, na Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi (ESALQ/USP), onde foi realizado o plantio de mais de 80 espécies nativas regionais, em espaçamento 3 x 2 m, com distribuição aleatória dos grupos de plantio. Atualmente apresenta um dossel de cerca de 8 m, com ausência de regenerantes e presença de gramíneas invasoras em alguns trechos.
MG1	Mogi-Guaçu	2002	10	11,5	22°22'23"S 46°58'31"O	Caracteriza-se por uma faixa de vegetação de 150 m no interior do Parque Florestal São Marcelo, propriedade da International Paper do Brasil. Foram implantadas 101 espécies nativas regionais, igualmente distribuídas entre pioneiras e não-pioneiras, em espaçamento 3 x 2,5 m. Atualmente apresenta um dossel de cerca de 15 m de altura, com presença de regenerantes, principalmente de espécies pioneiras.
DES	Descalvado	2001	11	9	21°56'50"S 47°42'51"O	Constitui-se de quatro diferentes parcelas localizadas na Fazenda Santana do Monte Alegre, onde foi realizado o plantio de cerca de mais de 100 espécies, entre nativas e exóticas regionais, em espaçamento 3 x 2 m. Atualmente apresenta o dossel em torno de 15 m, havendo maior frequência de regenerantes nas áreas com maior cobertura do solo por sombreamento.
ARA	Araras	1999	13	8,5	22°26'26"S 47°21'41"O	Trata-se de uma faixa de vegetação de cerca de 50 m no entorno de uma das represas da Usina São João, onde foi realizado um plantio de espécies nativas e exóticas regionais, em espaçamento 3 x 2 m, com distribuição aleatória dos grupos de plantio, sendo desconhecido o número de espécies plantadas. O reflorestamento conta hoje com um dossel de cerca de 18 m de altura, com baixo índice de regenerantes e presença de espécies invasoras.
MG2	Mogi-Guaçu	1994	18	7	22°21'57"S 46°58'17"O	Caracteriza-se por um talhão de 250 x 300 m, no interior do Parque Florestal São Marcelo, propriedade da International Paper do Brasil. Foram implantadas cerca de 50 espécies nativas regionais, em espaçamento 3 x 4 m. Atualmente apresenta um dossel de cerca de 30 m de altura, com presença de regenerantes.
ROS	Rosana	1988-1989	23	9,7	22°35'02"S 52°51'04"O	Constitui-se de um grande maciço reflorestado às margens da barragem UHE Rosana, implantado pela CESP e, hoje, sob concessão da Duke Energy. Foram implantadas espécies nativas, com diversidade reduzida, em espaçamento 3 x 2 m, apresentando, hoje, um dossel médio de 25 m, com subosque pouco denso, baixa incidência de regenerantes e presença de maciços homogêneos de espécies de maior estabelecimento na região, como <i>Anadenanthera</i> sp. e <i>Inga</i> sp.
TAR	Tarumã	1989	23	1,4	22°50'24"S 50°37'29"O	Representa uma faixa de vegetação com cerca de 30 x 400 m, na Fazenda Santa Águeda. Foram implantadas cerca de 40 espécies em espaçamento 3 x 2 m e, atualmente, apresenta um dossel em torno de 25 metros, com baixo índice de sombreamento do solo, subosque pouco denso e reduzido número de regenerantes.

Tabela 1 – Características dos treze reflorestamentos estudados no interior do estado de São Paulo
(conclusão)

Código	Município	Ano de Implantação	Idade (Anos)	Área (ha)	Coordenadas	Vegetação
IRC	Iracemápolis	1988-1990	24	21	22°34'38"S 47°30'32"O	Trata-se de uma faixa de vegetação de cerca de 50 m no entorno do reservatório de água para o abastecimento público de Iracemápolis. Foi realizado um plantio em alta diversidade, com cerca de 140 espécies, entre nativas e exóticas, em espaçamento 3 x 3 m. Nesse plantio foi adotado o sistema de módulos contendo 9 indivíduos das quatro classes sucessionais (pioneira, secundária inicial, secundária tardia e clímax). Atualmente possui um dossel em torno de 25 m e na regeneração do subosque prevalecem espécies invasoras como <i>Clausera excavata</i> , <i>Triplaris americana</i> e <i>Leucaena leucocephala</i> .
CM1	Cândido Mota	1982	30	3,5	22°47'32"S 50°28'07"O	Representa uma faixa de vegetação que varia entre 50 e 90 m de largura no entorno de uma lagoa de armazenamento de água e sua nascente na Fazenda Cananeia. Foram implantadas espécies nativas e exóticas regionais, com alinhamento em nível, apresentando um dossel entre 25 e 30 m e um subosque bem desenvolvido, com regenerantes de espécies do final da sucessão ecológica.
CM2	Cândido Mota	1972	40	1,1	22°46'58"S 50°27'46"O	Constitui-se de uma estreita faixa de vegetação (150 x 200 m), localizada às margens da lagoa de armazenamento de água na Fazenda Cananeia. É representada por poucos indivíduos de <i>Cariniana legalis</i> dominantes - apresentando um ótimo desenvolvimento silvicultural desta espécie - e baixa diversidade, com dossel variando entre 25 a 30 m e subosque desenvolvido.
COS	Cosmópolis	1955-1969	57	15,2	22°40'19"S 47°12'16"O	É representado por uma faixa de vegetação de largura variável (em em torno de 200 m) nas margens do Rio Jaguari, nas proximidades da Usina Ester. Foram plantadas 71 espécies arbustivas e arbóreas, privilegiando-se as nativas regionais, sem espaçamento ou alinhamento definidos, com aproximadamente uma muda a cada 10 m ² . Atualmente apresenta um dossel de cerca de 35 a 40 m de altura, com indivíduos de grande porte, e subosque bastante desenvolvido, com evidente recrutamento de espécies e outras formas de vida.
PIR	Piracicaba	1952	60	2,3	22°44'00"S 47°31'27"O	Caracteriza-se por um talhão de cerca de 250 x 170 m, localizado nas proximidades da sede administrativa da Estação Experimental de Tupi. Foi realizado o plantio de cerca de 30 espécies, entre nativas e exóticas, não havendo informações disponíveis sobre o espaçamento utilizado na implantação. Atualmente representa um dossel entre 25 e 30 m, com subosque bem desenvolvido, demonstrando um recrutamento considerável de espécies ao longo dos anos.
RCL	Rio Claro	1916	96	1,8	22°25'25"S 47°31'19"O	Trata-se do Talhão 23 presente na Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade, com dimensões de cerca 250 x 80 m. Ali foram plantadas cerca de 70 espécies em linhas homogêneas (monoespecíficas), em espaçamento 2 x 3 m, caracterizando-se como uma das primeiras experiências silviculturais com espécies nativas no Brasil, o que demonstra seu valor histórico. Atualmente, restam poucos indivíduos e espécies originalmente plantados, porém apresenta indivíduos de grande porte, com dossel entre 35 e 40 m de altura e subosque denso e bem desenvolvido, sendo observada a presença de outras formas de vida.

A escolha dos reflorestamentos a serem estudados baseou-se na amplitude de idades a serem abordadas, buscando-se uma maior repetição dos dados para as espécies coletadas nas mais diferentes idades possíveis. Todos esses reflorestamentos estão inseridos em paisagens altamente fragmentadas – onde a agricultura é a matriz predominante, com destaque para a cultura de cana-de-açúcar – tendo sido implantados com uma diversidade de espécies relativamente elevada e seguindo alguma metodologia pré-definida de restauração ecológica, estando sua maioria localizada às margens de corpos hídricos (Figura 2).

De uma maneira geral, todos os municípios envolvidos apresentam características climáticas semelhantes, sendo a maioria classificada, segundo a classificação de Koeppen, como Cwa (chuvas no verão e seca no inverno, com temperatura do mês mais quente superior a 22°C), mas com ocorrência de climas como o Aw (inverno seco e mês mais frio com temperatura média superior a 18°C, nos municípios de Anhembi e Rosana) e Am (com inverno seco e mês menos chuvoso com precipitação inferior a 60 mm, nos municípios de Cândido Mota e Tarumã) (CEPAGRI 2013). Dados referentes à altitude, temperaturas médias, máximas médias e mínimas médias, bem como pluviosidade e deficiência hídrica para todos os municípios foram apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização climática dos onze municípios envolvidos como áreas de estudos, no estado de São Paulo

Município	Altitude (m) ⁽¹⁾	Clima (Koeppen) ⁽¹⁾	Temperatura Média Anual (°C) ⁽¹⁾	Temperatura Mínima Média Anual(°C) ⁽¹⁾	Temperatura Máxima Média Anual (°C) ⁽¹⁾	Pluviosidade Média (mm.ano ⁻¹) ⁽²⁾	Deficiência Hídrica (mm.ano ⁻¹) ⁽³⁾
Anhembi	480	Aw	22,3	15,8	28,7	1285,98	45
Araras	620	Cwa	21,6	15,2	28,0	1281,19	11
Cândido Mota	460	Am	22,4	15,9	28,9	1430,55	34
Cosmópolis	585	Cwa	21,6	15,2	28,1	1302,33	76
Descalvado	685	Cwa	21,4	15,0	27,9	1558,47	91
Iracemópolis	605	Cwa	21,5	15,2	28,0	1061,00	23
Mogi-guaçú	640	Cwa	21,5	15,1	27,9	1400,96	59
Piracicaba	554	Cwa	21,6	14,8	28,2	1322,32	70
Rio Claro	620	Cwa	21,6	15,1	28,0	1313,15	83
Rosana	280	Aw	23,7	17,1	30,4	1257,93	79
Tarumã	440	Am	23,1	16,0	29,8	1257,96	34

⁽¹⁾ Fonte: Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura – CEPAGRI

⁽²⁾ Fonte: Sistema de Informações para o Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo – SigRH

⁽³⁾ Fonte: Embrapa Monitoramento por Satélite

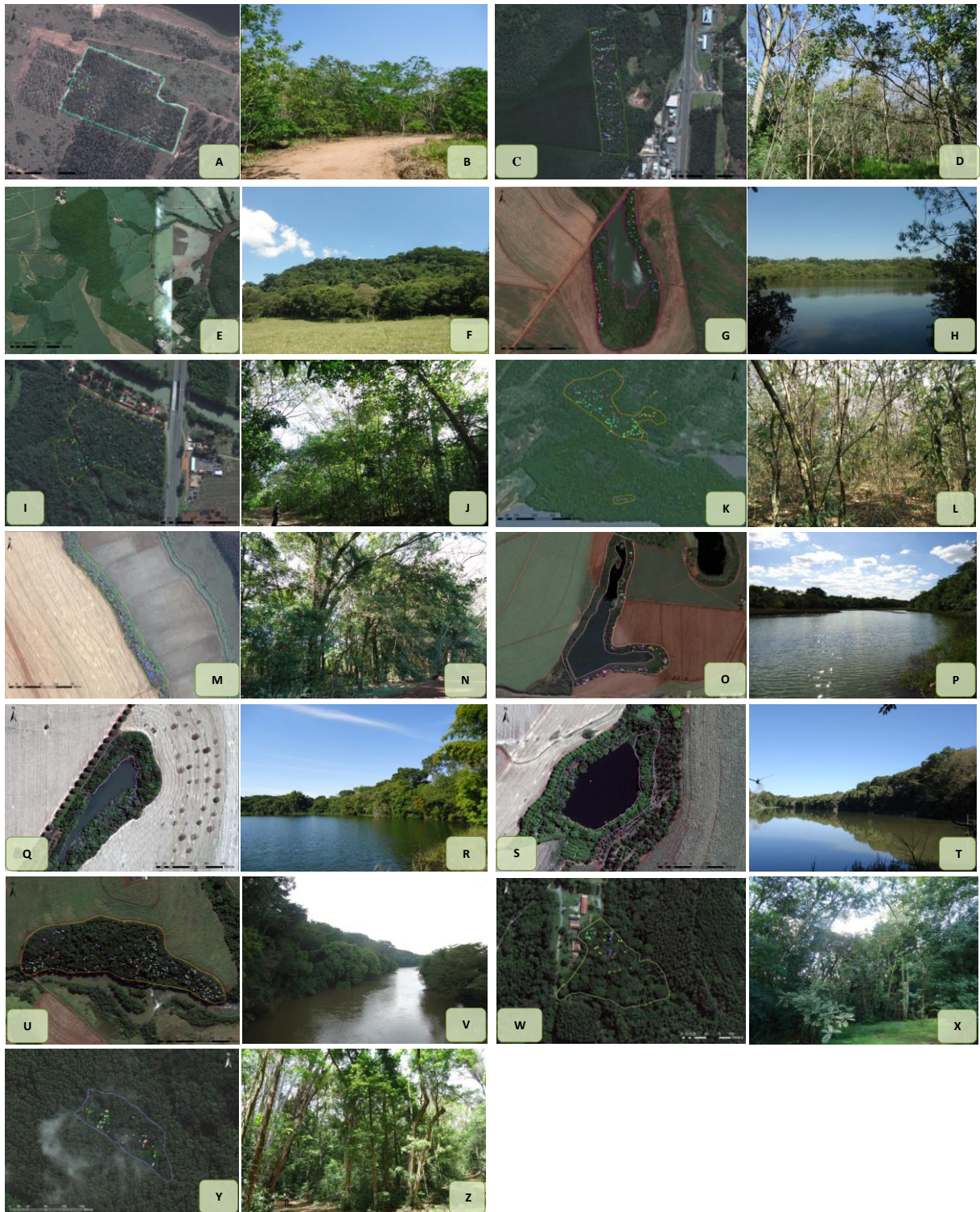


Figura 2 – Vista aérea (Fonte: *Google Earth™* 2012), com delimitação das áreas estudadas e projeção dos indivíduos arbóreos coletados, e detalhes da estrutura dos reflorestamentos estudados: Anhembi, 6 anos (A e B); Mogi-guaçú, 10 anos (C e D); Descalvado, 11 anos (E e F); Araras, 13 anos (G e H); Mogi-guaçú, 18 anos (I e J); Rosana, 23 anos (K e L); Taramã, 23 anos (M e N); Iracemápolis, 24 anos (O e P); Cândido Mota, 30 anos (Q e R); Cândido Mota, 40 anos (S e T); Cosmópolis, 57 anos (U e V); Piracicaba, 60 anos (W e X); e Rio Claro, 96 anos (Y e Z)

Outros dados climáticos e meteorológicos foram levantados nas bases de dados disponíveis para o estado de São Paulo, sendo utilizados em uma das etapas de análises dos dados.

3.2 Espécies avaliadas

Para a realização deste estudo, foram selecionadas inicialmente 25 espécies nativas da Floresta Estacional Semidecidual do Bioma Mata Atlântica com potencial para a produção madeireira. À medida que foi sendo realizada a coleta de dados em campo, verificou-se uma ocorrência mais frequente de dezesseis destas, as quais foram de fato utilizadas nessa pesquisa (Tabela 3).

Essas espécies foram classificadas de acordo com o seu ciclo potencial de produção comercial, sendo tais espécies divididas entre os grupos de “madeira média” e “madeira final” (PREISKORN et al., 2009; RODRIGUES et al., 2009). As espécies de “madeira média” têm crescimento moderado e densidade de madeira muito variável, mas com bom valor econômico para uso em carpintaria rústica, sendo de exploração estimada para ciclos de 20 anos após o plantio. No grupo das “madeiras finais”, incluem-se as espécies típicas das etapas finais da sucessão florestal, características da floresta madura e que geralmente apresentam crescimento lento, ciclo de vida longo e alta densidade de madeira. Nesse grupo está a maioria das espécies conhecidas como “Madeiras de Lei”. São madeiras de elevado valor econômico, com uso mais nobre em marcenaria e carpintaria. O corte desse grupo é estimado em ciclos de 30 a 40 anos após o plantio, quando espera-se que os indivíduos atinjam o diâmetro adequado para o desdobro.

Tabela 3 – Relação de espécies, com potencial desenvolvimento silvicultural para a produção de madeira nativa; classificação da espécie quanto ao ciclo de produção, características físico-mecânicas e indicações de uso das madeiras das espécies. Classif. Mad. = Classificação da espécie, segundo RODRIGUES et al. (2009); ρ básica = densidade básica da madeira; Ref. = Referências Consultadas

(continua)

Espécie	Nome Popular	Família Botânica	Classif. Mad.	Características da Madeira					Usos da Madeira	Ref.
				Características Gerais	ρ básica	Propriedades Físico-mecânicas	Trabalhabilidade	Durabilidade Natural		
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan var. <i>colubrina</i>	Angico-branco	Fabaceae	Média	Densidade alta; textura média; grã irregular para reversa; superfície lisa ao tato e lustrosa, com reflexos dourados e manchas escuras, causando um belo efeito decorativo	520 kg/m ³	Madeira dura, compacta, resistente, exigindo um longo período de secagem	Difícil trabalhabilidade devido à dureza	Alta durabilidade natural quando exposta	Construção civil em tabuados, tacos; marcenaria; carpintaria; desdobro; obras internas; ripas; implementos; embalagens; construção naval; ótima para lenha e carvão	2; 4
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i> (Griseb.) Altschul	Angico-vermelho	Fabaceae	Média	Densidade muito alta; textura média; grã irregular a reversa; superfície pouco lustrosa e irregularmente áspera; cerne e alburno distintos pela cor	840 kg/m ³	Madeira muito pesada; propriedades mecânicas altas; retratibilidade média	Difícil trabalhabilidade devido à dureza, provocando desgaste às ferramentas de corte; boa para torneamento; permite bom acabamento	Muito durável e alta resistência ao ataque de fungos e cupins	Construção pesada externa, como pontes, postes, mourões, cruzetas, dormentes, madeiramento de currais; construção civil interna para vigas e caibros; tábuas e tacos para assoalhos; móveis de alta qualidade; peças torneadas	2; 3; 7
<i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll.Arg.	Peroba-rosa	Apocynaceae	Final	Densidade alta; textura fina; grã direita ou reversa; superfície sem brilho e lisa ao tato; cerne e alburno indistintos	660 kg/m ³	Resistência mecânica e retratibilidade médias	Moderadamente fácil de ser trabalhada, porém pode apresentar certa dificuldade quando ocorre a grã reversa; bom acabamento final; pode ser colada facilmente	Moderada resistência a cupins e baixa a moderada resistência ao ataque organismos xilófagos	Móveis rústicos e carteiras escolares; construção civil pesada externa, como dormentes e cruzetas; construções internas como tesouras, vigas e caibros; esquadrias; tábuas, tacos e parquetes para assoalhos; carrocerias; cabos de ferramentas; carpintaria em geral	2; 3
<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	Guaritá	Anacardiaceae	Média	Densidade muito alta; textura média; grã ligeiramente inclinada; superfície lisa ao tato e de pouco brilho; cerne e alburno distintos pela cor	970 kg/m ³	Propriedades mecânicas altas e médias; resistente a esforços de pressão e choque	Madeira dura ao corte	Alta durabilidade quando exposta, bem como quando fincada na terra ou submersa na água	Construções externas, como dormentes, mourões, postes, esquadrias, cruzetas; acabamentos internos; confecção de móveis; peças torneadas; tábuas e tacos para assoalhos	4; 5

Tabela 3 – Relação de espécies, com potencial desenvolvimento silvicultural para a produção de madeira nativa; classificação da espécie quanto ao ciclo de produção, características físico-mecânicas e indicações de uso das madeiras das espécies. Classif. Mad. = Classificação da espécie, segundo RODRIGUES et al. (2009); ρ básica = densidade básica da madeira; Ref. = Referências Consultadas

(continuação)

Espécie	Nome Popular	Família Botânica	Classif. Mad.	Características da Madeira					Usos da Madeira	Ref.
				Características Gerais	ρ básica	Propriedades Físico-mecânicas	Trabalhabilidade	Durabilidade Natural		
<i>Balfourodendron riedelianum</i> (Engl.) Engl.	Pau-marfim	Rutaceae	Final	Densidade alta; grã regular; textura fina; superfície lisa ao tato; brilho médio; pouca diferenciação entre cerne e alburno	730 kg/m ³	Madeira pesada; resistência mecânica de média a alta; média retratibilidade	Pode ser serrada e trabalhada sem dificuldades; fácil acabamento e colagem satisfatória	Baixa resistência natural ao apodrecimento	Móveis de luxo; lâminas faqueadas decorativas; peças torneadas; cabos de ferramentas; molduras; partes internas da construção civil; artefatos decorativos em geral; cutelaria	1; 2; 3
<i>Cariniana estrellensis</i> (Raddi) Kuntze	Jequitibá-branco	Lecythidaceae	Final	Densidade moderada; textura média; grã direita; superfície lisa ao tato; pouco brilho; pouca diferenciação entre cerne e alburno	650 kg/m ³	Madeira pesada; resistência mecânica e retratibilidade volumétrica médias	Desempenho satisfatório nas operações de corte e usinagem; fácil laminação	Baixa resistência natural ao apodrecimento	Estrutura de móveis populares; molduras e garniões internos; forros, lambris; peças torneadas; cabos de ferramentas; esquadrias; painéis compensados; embalagens; brinquedos	1; 2
<i>Cariniana legalis</i> (Mart.) Kuntze	Jequitibá-rosa	Lecythidaceae	Final	Densidade leve a moderadamente densa; textura média e uniforme; grã direita; superfície irregularmente lustrosa e ligeiramente áspera ao tato; pouca diferenciação entre cerne e alburno	530 kg/m ³	Madeira leve; propriedades mecânicas médias a baixas	Madeira macia ao corte, fácil de ser trabalhada	Baixa resistência ao ataque de organismos xilófagos, quando exposta em condições adversas	Folhas faqueadas; laminados; compensados; móveis e armação; acabamentos internos; carpintaria; marcenaria; construção civil interna como forros, tabuados em geral, fósforos, artigos escolares; caixotaria, saltos para sapatos; tonéis; cabos de vassoura	2; 4; 5
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	Cedro-rosa	Meliaceae	Final	Densidade leve a moderadamente densa; textura grosseira; grã direita ou pouco ondulada; superfície lustrosa, com reflexos dourados; cerne e alburno distintos pela cor	440 kg/m ³	Madeira média quanto à densidade; resistência mecânica entre baixa e média; retratibilidade linear e volumétrica baixa	Fácil de ser trabalhada, seja com instrumentos manuais ou mecânicos; o aplainamento produz uma superfície lisa e uniforme; boa retenção de pregos e parafusos; excelente absorção de pigmentos e polimento	Resistência moderada ao ataque de organismos xilófagos; resistente aos agentes exteriores, desde que não enterrada ou submersa (quando apodrece rapidamente)	Móveis finos; folhas faqueadas decorativas; molduras para quadros; materiais para escritório; instrumentos musicais; construção interna (venezianas, forros, lambris, rodapés, garniões); construção naval, em acabamento interno decorativo e casco de embarcações leves; cabos de vassouras	1; 2

Tabela 3 – Relação de espécies, com potencial desenvolvimento silvicultural para a produção de madeira nativa; classificação da espécie quanto ao ciclo de produção, características físico-mecânicas e indicações de uso das madeiras das espécies. Classif. Mad. = Classificação da espécie, segundo RODRIGUES et al. (2009); ρ básica = densidade básica da madeira; Ref. = Referências Consultadas

(continuação)

Espécie	Nome Popular	Família Botânica	Classif. Mad.	Características da Madeira					Usos da Madeira	Ref.
				Características Gerais	ρ básica	Propriedades Físico-mecânicas	Trabalhabilidade	Durabilidade Natural		
<i>Centrolobium tomentosum</i> Guillem. ex Benth.	Araribá	Fabaceae	Média	Densidade moderada; textura média, desigual; grã direita ou irregular; superfície lustrosa e moderadamente lisa, com ou sem estrias; cerne e alborno diferenciados pela cor	550 a 580 kg/m ³	Madeira pesada; retratibilidade baixa; resistência mecânica média	Quando trabalhada, a madeira tem um cheiro característico	Madeira durável, considerada imune ao cupim	Construção civil e naval; obras externas e hidráulicas; tacos; carpintaria, marcenaria de luxo, móveis finos; torneados; lambris, postes, mourões; vigamentos para pontes; cabos de ferramentas e enxada; dormentes; tanoaria	2; 5
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	Tamboril	Fabaceae	Média	Densidade baixa; textura grosseira e uniforme; grã direita a irregular; superfície ligeiramente áspera ao tato e bastante lustrosa; cerne e alborno distintos pela cor	300 kg/m ³	Madeira leve; propriedades mecânicas baixas	Macia ao corte; quando serrada, seu pó causa irritação	Moderada resistência natural ao ataque de organismos xilófagos	Fabricação de brinquedos; construção naval; construção civil para esquadrias, tabuado e ripado, portões corrediços, portas e venezianas; carpintaria em geral; modelos de fundição; pranchetas, embalagens e caixotaria leve; palitos de fósforo, lápis; urnas funerárias; canoas de tronco inteiro e embarcações; entalhes em esculturas; gamelas, cochos; chapas compensadas, miolos de portas e painéis; raízes servem para jangadas	2; 4; 5
<i>Esenbeckia leiocarpa</i> Engl.	Guarantã	Rutaceae	Final	Densidade alta; textura média, uniforme; grã direita; superfície lustrosa e lisa ao tato	850 kg/m ³	Madeira muito pesada, dura, compacta, rachando com facilidade; resistência mecânica alta	Madeira dura ao corte	Alta durabilidade em ambientes externos, sendo considerada uma das mais resistentes ao ataque de organismos xilófagos	Madeira ótima para obras externas e no chão, como postes, dormentes, mourões, estivas, vigas de pontes; construção civil como vigas, caibros, ripas, batentes de portas e janelas, tábuas e tacos para assoalhos; cabos de ferramentas	4; 5; 8

Tabela 3 – Relação de espécies, com potencial desenvolvimento silvicultural para a produção de madeira nativa; classificação da espécie quanto ao ciclo de produção, características físico-mecânicas e indicações de uso das madeiras das espécies. Classif. Mad. = Classificação da espécie, segundo RODRIGUES et al. (2009); ρ básica = densidade básica da madeira; Ref. = Referências Consultadas

(continuação)

Espécie	Nome Popular	Família Botânica	Classif. Mad.	Características da Madeira					Usos da Madeira	Ref.
				Características Gerais	ρ básica	Propriedades Físico-mecânicas	Trabalhabilidade	Durabilidade Natural		
<i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng.) Harms	Pau-d'alho	Phytolaccaceae	Média	Densidade moderada; textura média a grossa; grã irregular; superfície ligeiramente áspera ao tato e com brilho refletindo irregularmente; alburno pouco diferenciado do cerne	660 kg/m ³	Madeira moderadamente pesada; propriedades mecânicas de média a baixa	Madeira dura ao corte; não permite acabamento uniforme	Baixa resistência ao ataque de organismos xilófagos, apodrecendo rapidamente quando exposta a intempéries	Madeira de uso restrito devido à desuniformidade do acabamento; uso em construções rústicas (galpões e paióis); construção civil em casas de madeira; caixotaria; barcos; forros e revestimentos; ótima para caixas de concreto; tábuas e sarrafos; embalagens leves	2; 4; 5
<i>Handroanthus heptaphyllus</i> Mattos	Ipê-roxo	Bignoniaceae	Final	Densidade alta; textura fina; grã irregular a revessa; superfície sem brilho; cerne e alburno distintos pela cor	840 kg/m ³	Madeira muito pesada; propriedades mecânicas altas	Muito dura ao corte; moderadamente difícil de trabalhar, principalmente com ferramentas manuais; recebe bom acabamento; problemas na colagem; aplainamento irregular; fácil de lixar e excelente para pregar e parafusar	Alta resistência ao ataque de organismos xilófagos; durável sob qualquer situação	Construções externas, como pontes, dormentes, cruzetas e defensas; vigas, caibros, esquadrias; guarnições, rodapés, forros, lambris; tábuas, tacos, parquetes e degraus de escadas; móveis de alta qualidade; artigos de esporte e brinquedos; cabos de ferramentas; implementos agrícolas; peças torneadas; instrumentos musicais ou partes de eles	3; 4; 5
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Jatobá	Fabaceae	Final	Textura lisa a grossa; grã normalmente revessa; superfície pouco lustrosa; cerne e alburno distintos pela cor	750 kg/m ³	Madeira de alto peso específico; baixa retratibilidade de alta resistência mecânica	Difícil a moderadamente fácil de trabalhar; pode ser desenrolada, aplainada, colada, parafusada e pregada; pode ser torneada e faqueada; Acabamento agradável; aceita verniz, pintura, lustre e emassamento	Resistência média a alta ao ataque de organismos xilófagos; tempo de vida reduzido quando em contato com o solo	Construções externas (obras hidráulicas, postes e vigas); construções pesadas; laminados; móveis; cabos de ferramentas; implementos agrícolas; carrocerias e vagões; dormentes; cruzetas e construção civil em geral	1; 2; 3

Tabela 3 – Relação de espécies, com potencial desenvolvimento silvicultural para a produção de madeira nativa; classificação da espécie quanto ao ciclo de produção, características físico-mecânicas e indicações de uso das madeiras das espécies. Classif. Mad. = Classificação da espécie, segundo RODRIGUES et al. (2009); ρ básica = densidade básica da madeira; Ref. = Referências Consultadas

(conclusão)

Espécie	Nome Popular	Família Botânica	Classif. Mad.	Características da Madeira					Usos da Madeira	Ref.
				Características Gerais	ρ básica	Propriedades Físico-mecânicas	Trabalhabilidade	Durabilidade Natural		
<i>Myroxylon peruferum</i> L.f.	Cabreúva-vermelha	Fabaceae	Final	Densidade alta; textura média; grã intercruzada; superfície áspera com irregularidade ao brilho; cerne e alburno distintos pela cor	780 kg/m ³	Madeira pesada; baixa retratibilidade volumétrica; alta resistência mecânica e massa específica	Difícil trabalhabilidade, porém com bom acabamento final	Alta resistência a fungos apodrecedores	Construção civil e naval; peças resistentes de obras externas como pontes, mancais, estruturas externas; carrocerias; cruzetas; cabos de ferramentas; assoalhos e peças torneadas	1; 3; 6
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	Canafístula	Fabaceae	Média	Densidade alta; textura médio-grosseira; grã fortemente revessa e diagonal; superfície irregularmente lustrosa e um tanto grosseira ao tato; cerne e alburno distintos pela cor	650 kg/m ³	Madeira moderadamente pesada, rija; propriedades mecânicas médias; contrações relativamente baixas, porém está sujeita a empenamento	Madeira dura ao corte	Resistência moderada ao apodrecimento, porém de grande durabilidade quando em lugares secos	Madeira considerada de alto valor econômico, indicada para construção civil, em vigas, caibros, ripas, marcos de portas, janelas, assoalhos; usos externos como mourões, dormentes, cruzetas; fabricação de móveis e guarnições; em construção naval e militar; marcenaria e carpintaria para a confecção de carrocerias, chapas e peças para decoração de interiores; parquetes	2; 3; 4; 5

Notas: Referências consultadas, foram classificadas conforme sequência numérica a seguir:

- 1 – JANKOWSKY et al. (1990)
- 2 – CARVALHO (2003)
- 3 – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT)
- 4 – LORENZI (1992)
- 5 – MAINIERI & CHIMELO (1989)
- 6 – CARVALHO (2006)
- 7 – GONZAGA (2006)
- 8 – MANIERI (1970)

3.3 Avaliação silvicultural dos indivíduos

Em cada área de estudo, foi realizado o censo das espécies listadas na Tabela 03, até que se atingisse uma amostra de 30 indivíduos por espécie. As coletas foram realizadas com o auxílio de um GPS de navegação (Garmin eTrex 30), facilitando a coleta de dados na medida em que possibilitou identificar a localização do pesquisador dentro do reflorestamento, tendo como referências os limites do talhão e as árvores já mensuradas.

A partir da obtenção de um ponto inicial conhecido, o levantamento dos indivíduos foi realizado por uma equipe de duas a três pessoas, através do caminhar pelas linhas de plantio, identificando-se os indivíduos das espécies de interesse para o estudo. A cada árvore observada, a equipe era direcionada para o indivíduo de interesse, realizando todas as medições e anotações necessárias. Em seguida, a equipe retornava à posição original, dando sequência à identificação das próximas plantas.

Identificados os indivíduos de interesse, os mesmos foram georreferenciados e plaqueados com número de identificação. Para cada indivíduo foram coletados dados de circunferência à altura do peito (CAP), mensurada a 1,30 m do solo, altura total (HT), altura comercial (HC), número de fustes do indivíduo (NF), qualidade da árvore (QA) e nível de exposição da planta à luz (NL).

Para a verificação do potencial de produção das espécies no cenário atual da restauração, foram considerados os todos dos diâmetros mensurados em campo, ou seja, para os indivíduos que continham dois fustes ou mais, cada fuste teve seu diâmetro considerado como uma árvore individualizada, obtendo-se uma estimativa conservadora da produção. Já para a verificação do crescimento diamétrico potencial das espécies, sob a condição de um cenário favorável ao crescimento das árvores, foi obtido o diâmetro equivalente dos indivíduos que apresentaram mais de um fuste em campo, o qual representa a soma dos quadrados dos diâmetros individuais de cada indivíduo. Dessa forma, estimou-se o potencial de produção diamétrica das espécies, uma vez que, foi sugerido que tais indivíduos tenham investido energia e biomassa para o desenvolvimento de um único fuste comercial.

As medidas de diâmetro foram tomadas com o auxílio de fita métrica ou trena e as alturas a partir de um hipsômetro (Blume Leiss). A altura total (HT) correspondeu à distância do eixo do solo até o último ramo da copa da árvore, a

partir do seu eixo principal. A altura comercial (HC) correspondeu à distância do eixo do solo até à primeira limitação do fuste para uso comercial em serraria (bifurcação ou tortuosidade no tronco). A contagem do número de fustes do indivíduo (NF) foi realizada no nível correspondente à metade da altura total da planta. A qualidade da árvore (QA) refere-se à classificação geral do indivíduo visando o uso da madeira, tendo sido atribuídas para a sua classificação notas de 1 a 4 (Figura 3):

- i) Qualidade 1: Fuste reto e não ramificado pela maior porção da árvore
- ii) Qualidade 2: Fuste reto e pouco ramificado ou torto e não ramificado
- iii) Qualidade 3: Fuste torto e ramificado ou reto e ramificado
- iv) Qualidade 4: Fuste torto e muito ramificado



Figura 3 – Parâmetros adotados para a classificação da qualidade dos indivíduos arbóreos avaliados: A) qualidade 1; B) qualidade 2; C) qualidade 3; e D) qualidade 4

O nível exposição da planta à luz (NL) corresponde a indicadores capazes de informar o nível de sombreamento do indivíduo em relação às plantas circunvizinhas, sendo adotados os indicadores 1, 2 e 3 que correspondem, respectivamente, a totalmente sombreado, parcialmente sombreado (recebe luz em apenas uma parte da copa) e não sombreado (recebe luz em todos os lados da copa). Dessa forma, obteve-se, de maneira indireta, a posição da planta em relação ao dossel do reflorestamento, denotando um comportamento de crescimento das espécies em condições de competição.

3.4 Amostragem dos indivíduos

Foram levantados 2.367 indivíduos arbóreos de dezesseis espécies nativas consideradas potenciais para a produção de madeira em plantios de restauração

florestal de Floresta Estacional Semidecidual no estado de São Paulo. As coletas em campo foram realizadas no período entre novembro de 2011 e janeiro de 2013.

A frequência das espécies (em número de indivíduos), bem como sua ocorrência entre as diferentes idades avaliadas, podem ser visualizadas na Tabela 4, onde pode-se observar que, em alguns casos, a amostra inicial de 30 indivíduos por área não pôde ser atingida para todas as espécies. Nota-se que as espécies mais frequentes foram *M. peruiferum* (10,31%), *C. estrellensis* (9,17%), *P. dubium* (9,08%) e *C. fissilis* (8,41%), ocorrendo em, respectivamente, 10, 9, 8 e 10 idades. Já as espécies menos encontradas foram *H. heptaphyllus* (3,25%), *A. polyneuron* (3,55%), *A. colubrina* var. *cebil* (4,01%) e *A. graveolens* (4,05%), tendo sido avaliadas em 7, 6, 5 e 6 idades, respectivamente.

Tabela 4 – Número absoluto de indivíduos encontrados para as espécies arbóreas nativas avaliadas nos reflorestamentos estudados no estado de São Paulo. Números entre parênteses indicam a idade do reflorestamento

Espécie	Área de estudo / Idade (anos)													TOTAL
	ANB (6)	MG1 (10)	DES (11)	ARA (13)	MG2 (18)	ROS (23)	TAR (23)	IRC (24)	CM1 (30)	CM2 (40)	COS (57)	PIR (60)	RCL (96)	
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i>	29	30	30	0	0	2	0	0	0	0	4	0	0	95
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>colubrina</i>	30	0	10	13	3	30	0	34	0	0	0	0	18	138
<i>Aspidosperma polyneuron</i>	11	30	30	0	0	0	0	0	7	0	0	5	1	84
<i>Astronium graveolens</i>	0	31	0	14	0	31	0	1	0	0	14	0	5	96
<i>Balfourodendron riedelianum</i>	0	0	0	0	0	0	5	30	14	0	34	21	5	109
<i>Cariniana estrellensis</i>	29	1	29	0	1	30	30	28	31	0	30	0	8	217
<i>Cariniana legalis</i>	0	14	12	9	0	0	0	31	0	13	18	0	0	97
<i>Cedrela fissilis</i>	11	30	31	30	31	30	16	5	13	0	1	0	1	199
<i>Centrolobium tomentosum</i>	31	1	15	3	0	0	31	35	0	0	30	1	15	162
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	30	2	30	0	30	29	30	0	0	0	28	2	0	181
<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	29	0	30	0	0	0	0	30	0	0	25	19	11	144
<i>Gallesia integrifolia</i>	30	24	17	0	0	1	32	0	8	0	31	0	1	144
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	0	1	29	0	0	0	30	2	2	0	6	7	0	77
<i>Hymenaea courbaril</i>	30	30	20	11	31	0	1	0	0	0	30	10	2	165
<i>Myroxylon peruiferum</i>	31	20	29	30	0	21	0	29	28	0	25	18	13	244
<i>Peltophorum dubium</i>	29	32	30	30	30	30	31	2	0	0	1	0	0	215
TOTAL	320	246	342	140	126	204	206	227	103	13	277	83	80	2367

3.5 Amostragem de solo

Para cada reflorestamento estudado, foram coletadas amostras de solo (0 a 20 cm de profundidade), para fins de determinação de composição química e granulométrica. A amostragem foi realizada na proporção de uma amostra composta para cada gleba homogênea do terreno, não ultrapassando 10 hectares por gleba. Para os reflorestamentos que apresentaram algum nível de heterogeneidade, foram coletadas duas ou mais amostras compostas (média de 10 subamostras), que foram analisadas individualmente, obtendo-se a média dos resultados como referência para o sítio.

Para a determinação composição química, cada amostra foi individualmente submetidas à análise no Laboratório de Análises Químicas do Departamento de Solos da ESALQ/USP. Na análise foram determinadas as concentrações de matéria orgânica (g/dm³), pH (CaCl₂ 0,01 M), H+Al (mmol_c/dm³), Al (mmol_c/dm³), P (mg/dm³), Ca (mmol_c/dm³), Mg (mmol_c/dm³), K (mmol_c/dm³), para cada amostra composta, obtendo-se valores de referência para os sítios como soma de bases (mmol_c/dm³), CTC (mmol_c/dm³), v% (mmol_c/dm³) e m% (mmol_c/dm³).

Já na determinação granulometria, as amostras foram também individualmente submetidas à análise granulométrica no Laboratório de Física do Solo, do Departamento de Solos da ESALQ/USP, obtendo-se as proporções (g/Kg) de areia, silte e argila.

3.6 Análise dos dados

Os dados foram abordados a partir de uma análise por cronossequência, gerando modelos de crescimento em diâmetro, altura total, altura comercial e diâmetro dos indivíduos de maior potencial de crescimento para as espécies em diferentes cenários de produtividade.

Os dados de idade, diâmetro à altura do peito (DAP), altura total, altura comercial e diâmetros de maior potencial referentes à cada espécie, associados aos dados resultantes das análises química e física dos solos e dados climatológicos levantados na literatura (tais como precipitação total anual média, precipitação máxima mensal, temperaturas média, máxima e mínima, deficiência hídrica anual, excedente hídrico anual e armazenamento de água no solo), foram submetidos à uma análise de correlação de Spearman, buscando identificar os fatores ambientais

mais correlacionados com o crescimento das espécies. Optou-se pelo coeficiente de Spearman em função da ausência de uma associação linear dos dados.

A determinação do fator ambiental a ser adotado para a determinação dos modelos de produção baseou-se não apenas no índice de maior correlação encontrado entre o fator ambiental e o parâmetro avaliado, mas também no fator que se correlacionasse de maneira mais coerente com a variável dependente (parâmetro analisado), evitando a multicolinearidade e seus efeitos negativos nas estimativas dos coeficientes de regressão e aplicabilidade dos modelos (HAIR, 2005).

Assim, foram identificados os fatores ambientais mais coerentes em três categorias, representando os valores referentes ao menor valor, valor mediano e maior valor encontrados entre os sítios estudados, o que possibilitou a geração de Modelos de Regressão Linear Múltipla, com estimativas de cenários de baixa, média e alta produtividade das espécies em função da qualidade dos sítios. Com base nos modelos lineares gerados para estimativa do diâmetro, foram estabelecidos, ainda, modelos não-lineares a partir do isolamento da variável idade, baseado nas variáveis DAP e fatores ambientais.

A modelagem para estimativa de produção da variável desejada foi baseada na idade e no fator ambiental. Para obtenção de predições de alta precisão e acurácia, foi necessário assegurar as pressuposições dos modelos lineares e transformações das variáveis. O erro padrão residual, coeficiente de determinação ajustado (R^2) e análises gráficas foram usados para comparação e seleção do melhor modelo para cada espécie. Os modelos foram gerados através do programa R (R Core Team, 2012).

A soma dos quadrados do resíduo foi minimizada utilizando o método dos mínimos quadrados ordinários em cada parâmetro estimado. As pressuposições dos modelos preditos usando os mínimos quadrados são observações independentes, homocedasticidade, erros normalmente distribuídos e variáveis explanatórias independentes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Crescimento das espécies selecionadas sob condições atuais de plantios de restauração florestal

4.1.1 Fatores ambientais x Modelagem diamétrica

A Análise de Correlação de Spearman realizada entre todos os fatores ambientais levantados (ANEXO A) demonstrou alta correlação entre a idade do reflorestamento e fatores como silte ($r = 0,85$), matéria orgânica do solo ($r = 0,74$) e teor de fósforo ($r = 0,73$). Uma alta correlação ($r = 0,83$) também foi encontrada entre o DAP e altura total dos indivíduos, ao passo que o DAP apresentou, ainda, uma correlação moderada ($r = 0,66$) com a idade dos reflorestamentos, assim como a altura total correlacionou-se com o teor de silte ($r = 0,67$) e matéria orgânica ($r = 0,62$).

Tais fatores indicaram uma associação clara entre a idade do reflorestamento – relacionada ao amadurecimento sucessional da floresta – e a melhoria dos atributos do solo do sítio em processo de restauração ecológica. Isso porque, em se tratando de florestas tropicais, estas normalmente se estabelecem em solos altamente intemperizados, com reduzido pH e baixa fertilidade natural (FURTINI NETO et al., 2000), o que torna a ciclagem de nutrientes um processo fundamental para a recuperação das propriedades químicas e físicas do solo (MACEDO et al., 2008; VITOUSEK, 1984). Dessa maneira à medida que as florestas evoluem estruturalmente e a vegetação torna-se mais complexa – devido o aumento das populações de plantas, da cobertura e diversidade do dossel e da competição por fatores de crescimento – o processo de melhoria das propriedades do solo é fortemente favorecido com a idade do reflorestamento (BERTACCHI et al., 2012; CUNHA, 1997).

Sabendo-se que os reflorestamentos estudados representam a mesma fitofisionomia (Floresta Estacional Semidecidual), como já era esperado, os fatores ambientais associados aos fatores climáticos demonstraram fortes correlações entre si, porém sem exibir correlação representativa para fatores relacionados aos aspectos silviculturais. Essa ausência de correlação pode estar associada, no entanto, ao fato de os dados climáticos obtidos serem dados generalistas – a nível de

município – existentes nas bases de dados climáticos disponíveis para o estado de São Paulo, o que não reflete necessariamente as condições locais de temperatura e disponibilidade de água do reflorestamento em si, mas sim de uma zona de abrangência mais ampla.

Entre os fatores ambientais associados ao solo, foram encontradas correlações positivas muito fortes entre a matéria orgânica e os teores de silte ($r = 0,94$) e fósforo ($r = 0,80$), ao mesmo tempo que apresentou correlação forte e negativa com o teor de areia ($r = -0,84$). Da mesma forma, o teor de areia correlacionou-se negativamente com fatores como P ($r = -0,62$), Ca ($r = -0,64$), Mg ($r = -0,73$), enquanto a argila esteve correlacionada positivamente com Ca ($r = 0,61$) e Mg ($r = 0,60$) e o silte com P ($r = 0,72$) e Mg ($r = 0,71$).

Assim, foi possível verificar a forte dependência existente entre os fatores ambientais relacionados ao solo, fato que influenciou a determinação dos fatores ambientais a serem adotados nos modelos relacionados ao crescimento das árvores apresentados neste trabalho. Dessa maneira, não foi adotado, necessariamente, o fator ambiental mais correlacionado com o parâmetro avaliado pelo modelo, mas sim aquele que melhor explicasse o desenvolvimento de tal parâmetro, no sentido de evitar que alguns fatores mitigassem a participação de outros, por estarem fortemente correlacionados entre si. Nesses casos, observa-se a multicolinearidade das variáveis, a qual foi evitada ao longo do processo de análise, através da análise exploratória dos dados.

Como exemplo, a matéria orgânica do solo pode ser citada como uma fator diretamente relacionado com a manutenção da capacidade de troca de cátions (CTC), retenção de íons básicos (como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ e Al^{3+}), agregação do solo, estando fortemente correlacionada com a disponibilidade de nutrientes e, logo, com a fertilidade e qualidade do solo (MACEDO et al., 2008; DAVIDSON et al., 2004). Assim, a qualidade do solo, nesse contexto, pode ser entendida como a combinação de processos químicos, físicos e biológicos que conferem ao solo a habilidade de desempenhar sua funcionalidade ecológica para o desenvolvimento das plantas (BATTLE-AGUILAR et al., 2011).

No contexto desse trabalho, verificou-se que as condições do solo apresentam influência destacada no potencial de produção de madeira a partir de

espécies nativas em plantios de restauração florestal, o que justificou a inclusão dessas condições na modelagem de crescimento para cada espécie (Tabela 5).

Tabela 5 – Fatores ambientais influentes no desenvolvimento diamétrico das espécies analisadas e seu valor mediano. r = coeficiente de correlação de Spearman

Espécie	Fator - DAP	Valor mediano do fator	r	Valor p
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>colubrina</i>	Magnésio	6,86 mmolc/dm ³	0,58	$2,2 \times 10^{-16}$
<i>Aspidosperma polyneuron</i>	Magnésio	5,05 mmolc/dm ³	0,58	$5,08 \times 10^{-10}$
<i>Astronium graveolens</i>	*	*	*	
<i>Cariniana estrellensis</i>	Cálcio	35,25 mmolc/dm ³	0,73	$2,2 \times 10^{-16}$
<i>Cariniana legalis</i>	Argila	458,90 g/Kg	0,45	$4,78 \times 10^{-06}$
<i>Cedrela fissilis</i>	Magnésio	12,62 mmolc/dm ³	0,59	$2,2 \times 10^{-16}$
<i>Centrolobium tomentosum</i>	pH	5,14 g/Kg	0,48	$8,27 \times 10^{-11}$
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Soma de bases	52,00 mmolc/dm ³	0,77	$2,2 \times 10^{-16}$
<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	Argila	324,90	0,51	$2,2 \times 10^{-16}$
<i>Gallesia integrifolia</i>	Matéria orgânica	21,66 g/dm ³	0,70	$2,2 \times 10^{-16}$
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	*	*	*	
<i>Hymenaea courbaril</i>	*	*	*	
<i>Myroxylon peruiferum</i>	Areia	383,4 g/Kg	0,67	$2,2 \times 10^{-16}$
<i>Peltophorum dubium</i>	Argila	409,4 g/Kg	0,48	$2,2 \times 10^{-16}$

Notas: * Espécie sem fator ambiental significativo para o desenvolvimento do diâmetro.

Para algumas espécies, o fator ambiental responsável pela variabilidade do DAP não pôde ser determinado a partir dos parâmetros analisados. A espécie *A. colubrina* var. *cebil* apresentou correlação muito fraca entre a variabilidade do seu DAP e a idade ($r = 0,28$) ou a qualquer fator ambiental analisado, bem como o *B. riedelianum* (com $r = 0,35$ para o fator idade) o que impossibilitou a modelagem diamétrica em função da idade.

Para *A. graveolens*, foi encontrada correlação muito fraca entre o DAP e a idade ($r = 0,08$), porém ocorreu alta correlação positiva com fatores determinantes da fertilidade do solo como matéria orgânica ($r = 0,77$), teor de P ($r = 0,76$) e teor de silte ($r = 0,77$), demonstrando sua sensibilidade à fertilidade do solo como potencializadora do crescimento em diâmetro. No nível da modelagem em diâmetro, no entanto, não foi possível estabelecer um fator ambiental responsável pela variabilidade do DAP, visto que tais fatores fortemente correlacionados com o diâmetro, também demonstraram forte correlação intrínseca.

Outras duas espécies também apresentaram situações diferenciadas para a modelagem, como no caso de *H. heptaphyllus* e *H. courbaril*, que demonstraram ausência de correlação efetiva com qualquer dos fatores ambientais mensurados, não permitindo o estabelecimento um fator determinante para o crescimento em diâmetro, uma vez que a alta variabilidade deste é mais dependente de variáveis não mensuradas. No caso de *H. courbaril*, a espécie apresentou ainda uma correlação forte entre o DAP e a idade do reflorestamento ($r = 0,77$).

Para as demais espécies foi possível modelar o crescimento em diâmetro a partir dos diferentes fatores ambientais mensurados nessa pesquisa, evidenciando a importância das propriedades edáficas como facilitadoras ou limitadoras do potencial de produção de madeira. Assim, verifica-se que o teor de magnésio foi determinado como fator ambiental mais importante para *A. colubrina* var. *colubrina* ($r = 0,58$, $p < 0,01$), *A. polyneuron* ($r = 0,58$, $p < 0,01$) e *C. fissilis* ($r = 0,59$, $p < 0,01$); o maior teor de argila estimulou o crescimento de *C. legalis* ($r = 0,45$, $p < 0,01$), *E. leiocarpa* ($r = 0,51$, $p < 0,01$) e *P. dubium* ($r = 0,48$, $p < 0,01$).

4.1.2 Modelagem da produção diamétrica

Com base nos fatores ambientais que mais influenciaram o crescimento das espécies na cronossequência analisada, foram gerados modelos de produção diamétrica para quatorze das dezesseis espécies estudadas, a partir de técnicas de regressão linear múltipla. Com esses modelos, foi possível estabelecer previsões do crescimento diamétrico das espécies avaliadas, obtendo-se estimativas do DAP através de duas diferentes perspectivas: i) diâmetro em função da idade do reflorestamento e do fator ambiental mais influente (Tabela 6); e ii) idade esperada, em função do diâmetro mínimo de corte previsto e do fator ambiental incluído no modelo (Tabela 7), obtendo-se uma expectativa de ciclos de produção comercial das espécies através do isolamento da variável idade.

Tabela 6 – Modelos de regressão linear para o crescimento diamétrico em função da idade do reflorestamento e do fator ambiental mais influente para quatorze espécies nativas do estado de São Paulo. Mg = magnésio; Ca = cálcio; Arg = argila; Sil = silte; SB = soma de bases; MO = matéria orgânica; Are = areia

Espécie	Modelo - DAP ~ f(Idade, fator)	Fator	R ²
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>colubrina</i>	$\text{Log(DAP)}^{0,5} = 0,68997 + 0,54854 * \text{Ln(Idade)}^{0,5} + 0,1055 * \text{Ln(Fator)}^{0,5}$	Mg	0,56
<i>Aspidosperma polyneuron</i>	$\text{DAP} = 0,60371 + 0,36259 * \text{Idade} + 0,05861 * \text{Fator}$	Mg	0,86
<i>Astronium graveolens</i>	$\text{DAP} = 0,7804 + 3,6788 * \text{Idade}^{0,5}$	*	0,69
<i>Cariniana estrellensis</i>	$\text{log(DAP)} = -1,781685 + 2,38244 * \text{LN(Idade)}^{0,5} + 0,044131 * \text{LN(Fator)}^2$	Ca	0,61
<i>Cariniana legalis</i>	$\text{log(DAP)}^{0,5} = -2,2962 + 0,5786 * \text{LN(Idade)}^{0,5} + 1,2278 * \text{LN(Fator)}^{0,5}$	Arg	0,62
<i>Cedrela fissilis</i>	$\text{log(DAP)}^{0,5} = 0,040186 + 0,864022 * \text{LN(Idade)}^{0,5} + 0,008459 * (\text{Fator})$	Mg	0,53
<i>Centrolobium tomentosum</i>	$\text{log(DAP)}^{0,5} = 0,56245 + 0,529346 * \text{LN(Idade)}^{0,5} + 0,006931 * (\text{Fator})^2$	pH	0,57
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	$\text{log(DAP)} = -0,721409 + 2,031252 * \text{LN(Idade)}^{0,5} + 0,047837 * \text{LN(Fator)}^2$	SB	0,79
<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	$\text{log(DAP)}^{0,5} = 0,543014 + 0,236706 * \text{LN(Idade)} + 0,013502 * (\text{Fator})^{0,5}$	Arg	0,70
<i>Gallesia integrifolia</i>	$\text{log(DAP)} = -1,6181644 + 2,3993188 * \text{LN(Idade)}^{0,5} + 0,0003084 * (\text{Fator})^2$	MO	0,55
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	$\text{DAP}^{0,5} = 1,8976 + 0,2172 * \text{LN(Idade)}^2$	*	0,52
<i>Hymenaea courbaril</i>	$\text{log(DAP)} = 0,89643 + 0,56584 * \text{LN(Idade)}$	*	0,57
<i>Myroxylon peruiferum</i>	$\text{Ln(DAP)}^{0,5} = 0,346979 + 0,893105 * \text{Ln(Idade)}^{0,5} - 0,009106 * \text{Ln(Fator)}^2$	Are	0,55
<i>Peltophorum dubium</i>	$\text{log(DAP)}^{0,5} = 0,371563 + 0,662133 * \text{LN(Idade)}^{0,5} + 0,006647 * \text{LN(Fator)}^2$	Arg	0,43

Notas: * Indica espécie que não apresenta um fator ambiental determinante para o desenvolvimento diamétrico.

Tabela 7 – Modelos não-lineares de projeção da idade esperada em função do diâmetro mínimo de corte previsto e do fator ambiental mais influente para quatorze espécies nativas do estado de São Paulo

Espécie	Modelo - Idade ~ f(DAP, fator)
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>colubrina</i>	$\text{log(Idade)}^{0,5} = (1/0,54854) * \text{LN(DAP)}^{0,5} - 0,1055/0,54854 * \text{LN(Fator)}^{0,5} - 0,68997/0,54854$
<i>Aspidosperma polyneuron</i>	$\text{Idade} = 1/0,36259 * \text{DAP} - 0,05861/0,36259 * (\text{Fator}) - 0,60371/0,36259$
<i>Astronium graveolens</i>	$\text{Idade}^{0,5} = 1/3,6788 * \text{DAP} - 0,7804/3,6788$
<i>Cariniana estrellensis</i>	$\text{log(Idade)}^{0,5} = 1/2,38244 * \text{LN(DAP)} - 0,044131/2,38244 * \text{LN(Fator)}^2 - (-1,781685/2,38244)$
<i>Cariniana legalis</i>	$\text{log(Idade)}^{0,5} = 1/0,5786 * \text{LN(DAP)}^{0,5} - 1,2278/0,5786 * \text{LN(Fator)}^{0,5} - (-2,2962/0,5786)$
<i>Cedrela fissilis</i>	$\text{log(Idade)}^{0,5} = 1/0,864022 * \text{LN(DAP)}^{0,5} - 0,008459/0,864022 * (\text{Fator}) - 0,040186/0,864022$
<i>Centrolobium tomentosum</i>	$\text{log(Idade)}^{0,5} = 1/0,529346 * \text{LN(DAP)}^{0,5} - 0,006931/0,529346 * (\text{Fator})^2 - (0,56245/0,529346)^2$
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	$\text{log(Idade)}^{0,5} = 1/2,031252 * \text{LN(DAP)} - 0,047837/2,031252 * \text{LN(Fator)}^2 - (-0,721409/2,031252)$
<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	$\text{log(Idade)} = 1/0,236706 * \text{LN(DAP)}^{0,5} - 0,013502/0,236706 * (\text{Fator})^{0,5} - 0,543014/0,236706$
<i>Gallesia integrifolia</i>	$\text{log(Idade)}^{0,5} = 1/2,3993188 * \text{LN(DAP)} - 0,0003084/2,3993188 * (\text{Fator})^2 - (-1,6181644/2,3993188)$
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	$\text{log(Idade)}^2 = 1/0,2172 * (\text{DAP})^{0,5} - 1,8976/0,2172$
<i>Hymenaea courbaril</i>	$\text{log(Idade)} = 1/0,56584 * \text{LN(DAP)} - 0,8964/0,56584$
<i>Myroxylon peruiferum</i>	$\text{log(Idade)}^{0,5} = 1/0,893105 * \text{LN(DAP)}^{0,5} - 0,346799/0,893105 - (-0,009106/0,893105) * \text{LN(Fator)}^2$
<i>Peltophorum dubium</i>	$\text{log(Idade)}^{0,5} = 1/0,662133 * \text{LN(DAP)}^{0,5} - 0,006647/0,662133 * \text{LN(fator)}^2 - (0,371563/0,662133)$

Para estas duas condições de desenvolvimento diamétrico, obteve-se ainda a expectativa de produtividade das espécies sob diferentes condições de sítio, estimando-se o potencial das mesmas de acordo com os parâmetros mínimos, medianos e máximos do fator ambiental mais influente na variabilidade do DAP da espécie, obtendo, assim, uma perspectiva de produção em cenários de baixa,

moderada e alta produtividade de sítio para cada espécie e em diferentes períodos (Tabela 8). Os modelos gráficos podem ser observados no ANEXO B.

No geral, o potencial de crescimento diamétrico foi altamente influenciado pela condição do sítio, demonstrando a importância da escolha do local de implantação do reflorestamento para viabilizar a exploração futura de madeira. Pode-se também orientar a escolha das espécies “carro-chefe” para produção de madeira em função das condições edáficas do local de interesse de implantação do projeto de restauração, aumentando-se assim a rentabilidade do projeto.

Da mesma forma, esses resultados reforçam a importância do preparo adequado do solo como forma de favorecer o crescimento adequado das árvores nos modelos de restauração voltados para a produção de madeira tropical. O papel da fertilização do solo para o desenvolvimento de plantios de restauração foi também evidenciado por Campoe, Stape e Mendes (2010) em um experimento instalado em Anhembi-SP, numa das áreas experimentais do presente estudo, no qual plantios de restauração submetidos a fertilização mais intensiva apresentaram um incremento de biomassa de mais de 400% aos 6 anos de idade em relação às parcelas controle, sem contar a maior proporção de cobertura do dossel, evitando a competição das nativas com gramíneas invasoras.

De forma particular, observou-se que *E. contortisiliquum* apresentou um elevado desenvolvimento diamétrico logo nos primeiros 15 anos de implantação, com DAP de 13,81 cm, 29,02 cm e 46,78 cm para, respectivamente, os sítios de baixa, moderada e alta produtividade. Esta espécie despontou como a mais produtiva durante todos os períodos mencionados, alcançando diâmetros mínimos para corte entre 10-15 anos para sítios muito produtivos e entre 20-25 anos para sítios medianos, demonstrando ser uma espécie fortemente dependente das condições edáficas no que se refere ao potencial de crescimento. A alta produtividade do crescimento em diâmetro desta espécie foi mencionada por Carvalho (2003) e Ferreira et al. (2007), reforçando esse potencial.

Tabela 8 – Estimativas do crescimento em diâmetro para quatorze espécies nativas e potenciais para a produção de madeira no estado de São Paulo, segundo estimativas de baixa, média e alta produtividade, nas idades de 15, 20, 30, 40 e 50 anos. FA = fator ambiental; Mg = teor de magnésio no solo; Ca = teor de cálcio no solo; Arg = teor de argila no solo; SB = soma de bases do solo; MO = matéria orgânica do solo; sil = teor de silte no solo; Ano = idade do reflorestamento; B = sítio com baixa produtividade em função do fator ambiental; Are = teor de areia no solo; M = sítio de produtividade moderada em função do fator ambiental; A = sítio com alta produtividade em função do fator ambiental; SF = estimativa do diâmetro para as espécies que não apresentaram correlação com os fatores ambientais mensurados, não tendo seu diâmetro estimado para diferentes produtividades

Espécie	FA	Ano	DAP (cm)				Ano	DAP (cm)				Ano	DAP (cm)				Ano	DAP (cm)								
			B	M	A	SF		B	M	A	SF		B	M	A	SF		B	M	A	SF					
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>colubrina</i>	Mg		13,50	20,58	22,55	*		15,73	24,27	26,66	*		19,42	30,42	33,53	*		22,47	35,58	39,30	*		25,13	40,10	44,37	*
<i>Aspidosperma polyneuron</i>	Mg		6,10	6,34	7,65	*		7,92	8,15	9,46	*		11,54	11,78	13,09	*		15,17	15,40	16,71	*		18,79	19,03	20,34	*
<i>Astronium graveolens</i>	*		*	*	*	15,03		*	*	*	17,23		*	*	*	20,93		*	*	*	*		*	*	*	26,79
<i>Cariniana estrellensis</i>	Ca		11,94	14,86	25,88	*		14,63	18,21	31,70	*		19,17	23,86	41,53	*		23,00	28,62	49,83	*		26,36	32,80	57,11	*
<i>Cariniana legalis</i>	Arg		12,13	17,72	25,34	*		14,21	21,00	30,32	*		17,67	26,52	38,81	*		20,56	31,18	46,05	*		23,10	35,30	52,48	*
<i>Cedrela fissilis</i>	Mg		8,70	11,72	17,63	*		10,86	14,84	22,75	*		14,84	20,68	32,47	*		18,52	26,13	41,73	*		21,98	31,32	50,63	*
<i>Centrolobium tomentosum</i>	Sil	15	10,88	13,66	20,45	*	20	12,53	15,83	23,97	*	30	15,23	19,40	29,80	*	40	17,43	22,34	34,65	*	50	19,33	24,88	38,87	*
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	SB		13,81	29,02	46,78	*		16,42	34,51	55,62	*		20,68	43,45	70,03	*		24,15	50,74	81,79	*		27,13	57,00	91,87	*
<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	Arg		5,30	7,67	9,23	*		6,34	9,36	11,36	*		8,31	12,59	15,46	*		10,18	15,71	19,46	*		11,99	18,77	23,41	*
<i>Galesia integrifolia</i>	MO		10,63	11,88	26,66	*		13,05	14,58	32,71	*		17,13	19,13	42,94	*		20,57	22,98	51,58	*		23,60	26,37	59,17	*
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	*		*	*	*	12,18		*	*	*	14,80		*	*	*	19,45		*	*	*	23,55		*	*	*	27,27
<i>Hymenaea courbaril</i>	*		*	*	*	11,34		*	*	*	13,35		*	*	*	16,79		*	*	*	19,76		*	*	*	22,42
<i>Myroxylon peruiferum</i>	Are		7,31	9,33	12,12	*		9,11	11,78	15,50	*		12,45	16,36	21,90	*		15,53	20,65	27,63	*		18,44	24,74	33,78	*
<i>Peltophorum dubium</i>	Arg		13,64	18,09	19,42	*		16,43	21,99	23,66	*		21,24	28,80	31,08	*		25,41	34,76	37,59	*		29,16	40,15	43,49	*

Notas: * Indica espécie que não apresenta um fator ambiental determinante para o desenvolvimento diamétrico.

Da mesma maneira, *G. integrifolia* também demonstrou alta sensibilidade às condições do solo, apresentando, por exemplo, baixa produtividade (DAP de 17,13 cm) aos 30 anos em solos pobres em matéria orgânica, enquanto em solos ricos atingiu 42,94 cm nessa mesma idade. De acordo com a literatura, apesar de a espécie se desenvolver bem em diversas condições (NOGUEIRA, 2010), esta espécie é considerada como indicadora da fertilidade química do solo em sua zona de ocorrência natural (CARVALHO, 2003), o que confirma a influência do fator ambiental utilizado.

As espécies *C. estrellensis* e *C. legalis* também apresentaram boa produtividade em diâmetro entre 20 e 30 anos para sítios favoráveis, com diâmetros de 41,53 cm e 38,81 cm, respectivamente, aos 30 anos. No caso de sítios moderados e baixos, as espécies atingem diâmetros mínimos após os 50 anos de implantação, com respectivos diâmetros de 32,80 e 35,30 cm nos sítios moderados nesta idade. Estas espécies foram classificadas como de crescimento moderado a rápido por Carvalho (2003), o que corresponde aos dados apresentados para os cenários de moderada e alta produtividade.

Outras espécies que apresentaram desenvolvimento semelhantes foram *A. colubrina* var. *colubrina*, *C. fissilis* e *P. dubium*, com diâmetros em torno de 30 cm aos 30 anos de idade em sítios mais produtivos (33,53 cm, 32,47 e 31,08 cm, respectivamente), porém, levando mais de 50 anos para alcançar este porte em sítios pobres. Dentre este grupo de espécies, *C. fissilis* demonstrou maior sensibilidade aos fatores do solo (fator ambiental = magnésio) que as demais, representando diferenças significativas no desenvolvimento diamétrico entre as classes de sítios abordadas.

M. peruiferum apresentou desenvolvimento lento, mesmo nos sítios mais produtivos, com DAP de 21,90 cm aos 30 anos, nestas condições. No caso dos sítios mais pobres (solo mais arenoso), a espécie alcança apenas 12,45 e 16,36 cm aos 30 anos. Nesse mesmo contexto, *A. polyneuron* apresentou índices de crescimento em diâmetro bastante conservadores, com diâmetros de 18,79 cm, 19,03 e 20,34 cm aos 50 anos, nos sítios de baixa, média e alta produtividade, respectivamente. Esta espécie, por outro lado, apresentou baixa sensibilidade aos fatores ambientais testados, apresentando um crescimento lento em todas as condições de sítio, sem diferenças significativas entre os mesmos. Outra espécie com baixo ritmo de

crescimento foi *E. leiocarpa*, cujos diâmetros ficaram entre 11,99 cm e 23,41 cm aos 50 anos de idade, observando-se que a produtividade da espécie é baixa em ambas as condições de sítio (baixa e alta, respectivamente).

Conforme mencionado no item anterior, algumas espécies não foram sensíveis aos fatores ambientais mensurados, impossibilitando a modelagem do crescimento diamétrico sob os diferentes cenários de produtividade. Foram os casos de *A. graveolens*, *H. heptaphyllus* e *H. courbaril*, para as quais modelou-se o crescimento em diâmetro apenas em função da idade. Dessa maneira, *A. graveolens* apresentou DAP de 20,93 cm aos 30 anos e 26,79 cm aos 50 anos; *H. heptaphyllus* obteve DAP de 19,45 cm aos 30 e 27,27 cm aos 50 anos; e *H. courbaril* demonstrou um DAP de 16,79 cm aos 30 e 22,42 cm 50 anos.

Diante deste cenário, verificou-se que para a perspectiva de crescimento diamétrico estabelecida para as 14 espécies mencionadas, aos 20 anos obtêve-se 28,5% das espécies com DAP acima de 30 cm. Dentre estes, 7,1% esteve acima de 35 cm (1 espécie), representando a mesma espécie na classe de DAP maior que 40 cm. Aos 30 anos obtêve-se 50% das espécies com DAP maior que 30 cm, ao passo que destas, 28,5% continham DAP maior de 35 cm (4 espécies), sendo 21,4% (3 espécies) com DAP maior que 40 cm.

Com isso, vale lembrar que o crescimento obtido nesta análise em sua maioria caracteriza indivíduos advindos de reflorestamentos com o enfoque na restauração ecológica da área e não em plantios comerciais para a produção de madeira em si. Assim, na maioria dos casos, tais árvores desenvolveram-se em condições restritas em relação à disponibilidade de nutrientes no solo, bem como em ambientes com alta densidade de indivíduos (alta competitividade por luz) e sem nenhuma intervenção silvicultural com intenção de facilitação do crescimento diamétrico. Assim, pode-se considerar que o crescimento diamétrico apontado reflete o potencial natural mínimo limítrofe das espécies, os quais poderiam apresentar ganhos consideráveis em condições mais favoráveis ao desenvolvimento silvicultural das mesmas, como nos casos de fertilização do solo e tratos silviculturais apropriados e especializados para o manejo de cada espécie.

4.1.3 Estimativas dos ciclos de produção por espécie

De acordo com os modelos não-lineares de crescimento apresentados anteriormente (Tabela 7), foi possível identificar quais os ciclos de produção esperados para as espécies analisadas, a partir da definição de um diâmetro mínimo de corte (DMC) dos indivíduos, estimando-se, dessa forma, a idade prevista para a colheita. Com isso, fixou-se o DAP mínimo de corte das árvores em 35 cm, o qual equivale ao diâmetro mínimo utilizado para o desdobro e processamento da madeira em serrarias para se obter as idades previstas de corte (Tabela 9).

Tabela 9 – Estimativas dos ciclos de produção para quatorze espécies nativas e potencialmente produtoras de madeira serrada no estado de São Paulo, a partir do estabelecimento de um diâmetro mínimo de corte de 35 cm, sob cenários de baixa, moderada e elevada produtividade. DMC = diâmetro mínimo de corte; M = sítio de produtividade moderada em função do fator ambiental; B = sítio com baixa produtividade em função do fator ambiental; A = sítio com alta produtividade em função do fator ambiental; SF = estimativa do diâmetro para as espécies que não apresentaram correlação com os fatores ambientais mensurados

Espécie	Fator ambiental	DMC (cm)	Idade (anos)			
			A	M	B	SF
<i>Anadenanthera colubrina</i> <i>var. colubrina</i>	Magnésio	35	32,41	38,80	98,30	*
<i>Aspidosperma polyneuron</i>	Magnésio	35	90,43	94,05	94,69	*
<i>Astronium graveolens</i>	*	35	*	*	*	86,52
<i>Cariniana estrellensis</i>	Cálcio	35	23,14	55,72	81,22	*
<i>Cariniana legalis</i>	Argila	35	25,28	49,24	112,99	*
<i>Cedrela fissilis</i>	Magnésio	35	32,69	57,35	91,68	*
<i>Centrolobium tomentosum</i>	pH	35	40,79	103,16	188,56	*
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Soma de bases	35	9,57	20,49	83,43	*
<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	Argila	35	79,53	103,92	184,80	*
<i>Gallesia integrifolia</i>	Matéria orgânica	35	22,07	80,88	98,38	*
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	*	35	*	*	*	73,80
<i>Hymenaea courbaril</i>	*	35	*	*	*	109,85
<i>Myroxylon peruiferum</i>	Areia	35	52,18	76,87	114,74	*
<i>Peltophorum dubium</i>	Argila	35	35,89	40,42	67,38	*

Notas: * Indica espécie que não apresenta um fator ambiental determinante para o desenvolvimento diamétrico.

As estimativas dos ciclos de produção das espécies detectaram que 50% das espécies analisadas apresentaram ciclos de produção até os 35 anos para os sítios de alta produtividade, ao passo que 100% das espécies apresentaram ciclos superiores a 67 anos nos sítios menos produtivos. Para muitas destas espécies,

neste sentido, fica evidente a forte dependência da qualidade química e/ou física do solo para o desenvolvimento das plantas.

Dentre as espécies avaliadas, destacou-se o *E. contortisiliquum* como a mais produtiva, atingindo o DMC aos 9,57 anos, em sítios de alta produtividade e 20,49 anos em sítios moderados. Diante de condições de baixa disponibilidade de bases trocáveis no solo, no entanto, esta espécie leva 83,43 anos para atingir o DMC.

As espécies *C. estrellensis* e *C. legalis* atingiram o DMC aos 23,14 e 25,28 anos, respectivamente – no cenário de alta produtividade – 55,72 e 49,24 anos no cenário de produtividade moderada e 81,22 e 112,99 anos em sítios mais pobres, respectivamente. Da mesma maneira, *G. integrifolia* atingiu o DMC em sítio melhor aos 22,07 anos, em sítio moderado aos 80,88 e em pior sítio aos 98,38 anos.

No caso de *P. dubium*, o DMC foi atingido aos 35,89 anos, 40,42 anos e 67,38 anos, respectivamente, para os sítios melhores, medianos e piores, ao passo que *C. fissilis*, obteve resultados semelhantes, com 32,69 anos, 57,35 e 91,68 anos na mesma sequência de produtividade, demonstrando certa dependência à presença de magnésio na composição do solo. Da mesma forma, para *A. colubrina* var. *colubrina* a idade de 32,41 anos são suficientes para o alcance do DMC em condições de alta produtividade e 38,80 anos, em condições médias. No entanto, para sítios ruins, são necessários 98,30 anos de crescimento, reforçando a necessidade de uma quantidade mínima de magnésio no solo para o bom desenvolvimento da espécie.

Nesse sentido, segundo o Boletim 100 do Instituto Agrônomo de Campinas (RAIJ et al., 1996), o teor de Mg^{2+} trocável no solo pode ser classificado como baixo entre 0 e 4 mmolc/dm³ de solo, médio entre 5 e 8 mmolc/dm³ e elevado quando acima de 8 mmolc/dm³. A presença de *A. colubrina* var. *colubrina* dentre os reflorestamentos avaliados, apresentou valores mínimos muito baixos para o sítio de menor produtividade (1,039 mmolc/dm³) e bastante elevado para o sítio de maior produtividade (14,5 mmolc/dm³) – conforme os resultados nas análises químicas e físicas dos solos – o que corrobora para a afirmação da dependência de valores mínimos desse nutriente no solo para o bom desempenho da espécie, o qual pode ser adquirido com uma correta adubação corretiva do solo.

M. peruiferum, obteve 52,18 anos como idade mínima de corte nos sítios mais produtivos, 76,87 anos nos medianos e 114,74 anos nos menos produtivos. *A. poluneuron* apresentou 90,43 anos, 94,05 anos e 94,69 anos para alcançar o DMC,

entre os sítios mais e menos produtivos, respectivamente, tendo o seu desenvolvimento diamétrico muito pouco dependente da variabilidade do fator ambiental nos sítios, mesmo que este tenha apresentado uma vasta diferença entre os valores mínimo para o teor de Mg no solo ($1,039 \text{ mmolc/dm}^3$) e máximo ($27,42 \text{ mmolc/dm}^3$).

Nessa mesma linha, embora *E. leiocarpa* tenha obtido o valor de 79,53 anos para o corte nos melhores sítios, esta espécie apresentou crescimento muito lento para as demais condições, revelando ser necessários 103,92 anos de crescimento em sítios moderados e 184,80 anos em sítios pobres, o que a torna a espécie com ritmo de crescimento mais lento, dentre as avaliadas.

Devido à ausência de correlação entre o crescimento diamétrico e os fatores ambientais analisados, conforme comentado anteriormente, algumas espécies tiveram sua produção diamétrica modelada a partir da idade, demonstrando um ritmo de crescimento bastante lento. Esse é o caso do *H. heptaphyllus*, que exigiria 73,80 anos para alcançar o DMC, do *A. graveolens*, que leva 86,52 anos e do *H. courbaril*, que precisa de 109,85 anos para que tenha porte suficiente para o corte da madeira. Vale lembrar, no entanto, que as espécies que apontaram a produção diamétrica variável apenas com a idade, apresentam uma expressiva variabilidade dentre os diâmetros dos indivíduos de cada idade avaliada, o que denota a possibilidade de ocorrência de indivíduos com melhor potencial dentre os presentes na amostra.

De acordo com os dados apresentados, portanto, foi possível agrupar as espécies estudadas a partir dos seus ciclos de amadurecimento comercial, identificados nesse trabalho, segundo a qualidade do sítio em relação aos fatores ambientais observados (Tabela 10). A partir dessa perspectiva é possível verificar como algumas espécies participam de diferentes grupos de idades de corte, dependendo da produtividade do sítio, tendo sua produção substancialmente subordinada às condições do solo. Como exemplo, pode-se adotar a espécie *C. legalis* que oscilou entre os grupo de 20-25 anos na maior produtividade e o grupo acima de 90 anos na menor.

Comparando-se esses grupos com a classificação de Rodrigues et al. (2009) para os grupos de espécies potencialmente produtoras de madeira, verificou-se que algumas espécies classificadas como “madeira média” apresentaram ciclos de produção superiores a 30 anos (*P. dubium*, *C. tomentosum* e *A. graveolens*), mesmo

na expectativa de melhor produtividade do sítio. Em contrapartida, *C. estrellensis* e *C. legalis*, classificadas como “madeira final”, apresentaram ciclos de produção inferiores a 30 anos para os sítios mais produtivos, ainda que tenham mantido ciclos superiores a 40 anos nas demais condições.

Tabela 10 – Agrupamento das espécies de acordo com os ciclos de maturação comercial para a produção de madeira nativa no estado de São Paulo, segundo sítios de alta, média e baixa produtividade, em condições de ausência de fertilização do solo e de adoção de tratamentos silviculturais. Clas. Mad. = classificação de Rodrigues et al. (2009) para as espécies potencialmente produtoras de madeira, sendo a expectativa de ciclos de corte das espécies de “madeira média” igual a 20 anos e das espécies de “madeira final” entre 30 e 40 anos

Espécie	Madeira	Produtividade do sítio				
		Alta	Média	Baixa	Não classificada	
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Média	10 anos	20	80 - 85 anos		
<i>Cariniana estrellensis</i>	Final		55 - 60 anos			
<i>Gallesia integrifolia</i>	Média	20 - 25 anos	80 - 85 anos	Acima de 90 anos		
<i>Cariniana legalis</i>	Final					
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>colubrina</i>	Média		40 - 50 anos			
<i>Peltophorum dubium</i>	Média	30 - 40 anos		65 - 70 anos		
<i>Cedrela fissilis</i>	Final			55 - 60 anos		
<i>Centrolobium tomentosum</i>	Média			Acima de 90 anos		
<i>Aspidosperma polyneuron</i>	Final	80 - 90 anos	95 - 105 anos			
<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	Final					
<i>Myroxylon peruiferum</i>	Final	50 anos	75 anos			
<i>Astronium graveolens</i>	Média					75 - 90 anos
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Final					
<i>Hymenaea courbaril</i>	Final				Acima de 90 anos	

Ressalta-se que os grupos de espécies mencionados por esses autores (RODRIGUES et al. 2009) seguem uma classificação direcionada para a qualidade da madeira em relação ao uso comercial das mesmas, sendo as “madeiras finais” as espécies com uso mais nobre e com maior valor agregado ao produto final. Assim, pode-se destacar *C. estrellensis* e *C. legalis* dentre as espécies com grande potencial para a geração de madeira nativa em ciclos comerciais mais competitivos.

Além disso, essa comparação revela a importância da geração de conhecimento sobre os ritmos de crescimento e ciclos de produção das espécies nativas, sob diferentes condições de produtividade. Com isso, busca-se obter subsídios para o planejamento de modelos de restauração florestal que sejam

eficientes na produção de madeira e no cumprimento de sua função ecológica, pois, dessa maneira, é possível ter o maior controle dos procedimentos silviculturais a serem aplicados em cada etapa do desenvolvimento da floresta. Assim, otimiza-se a aplicação de recursos financeiros no reflorestamento – através de um melhor planejamento da colheita da madeira produzida – bem como otimiza a realização das operações silviculturais, evitando-se impactos ambientais desnecessários.

4.1.4 Modelagem do crescimento para a altura total

Da mesma maneira que o crescimento diamétrico, o crescimento das espécies em altura total foi modelado, segundo a idade do reflorestamento e os fatores ambientais que mais influenciam o desenvolvimento dessa altura (Tabela 11).

Tabela 11 – Fatores ambientais influentes no desenvolvimento da altura total das espécies analisadas e seu valor mediano. r = coeficiente de correlação de Spearman

Espécie	Fator - HT	Valor mediano do fator	r	Valor p
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>colubrina</i>	H+Al	41 mmolc/dm ³	-0,71	$2,2 \times 10^{-16}$
<i>Aspidosperma polyneuron</i>	*	*	*	*
<i>Astronium graveolens</i>	*	*	*	*
<i>Balfourodendron riedelianum</i>	Silte	192,4 g/Kg	0,60	$1,68 \times 10^{-12}$
<i>Cariniana estrellensis</i>	Magnésio	14,5 mmolc/dm ³	0,00	$2,2 \times 10^{-16}$
<i>Cariniana legalis</i>	Argila	458,9 g/Kg	0,30	$3,13 \times 10^{-03}$
<i>Cedrela fissilis</i>	Magnésio	12,62 mmolc/dm ³	0,49	$1,03 \times 10^{-14}$
<i>Centrolobium tomentosum</i>	CTC	84,94 mmolc/dm ³	0,74	$2,2 \times 10^{-16}$
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Soma de bases	65,76 mmolc/dm ³	0,71	$2,2 \times 10^{-16}$
<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	Soma de bases	28,21 mmolc/dm ³	0,68	$2,2 \times 10^{-16}$
<i>Gallesia integrifolia</i>	Cálcio	61,87 mmolc/dm ³	0,50	$3,62 \times 10^{-16}$
<i>Handroanthus heptaphyllum</i>	Alumínio	0,75 mmolc/dm ³	0,41	$6,01 \times 10^{-05}$
<i>Hymenaea courbaril</i>	*	*	*	*
<i>Myroxylon peruiferum</i>	Magnésio	12,62 mmolc/dm ³	0,62	$2,2 \times 10^{-16}$
<i>Peltophorum dubium</i>	Magnésio	5,051 mmolc/dm ³	0,53	$2,2 \times 10^{-16}$

Notas: * Indica espécie que não apresenta um fator ambiental determinante para o desenvolvimento da altura total

De uma maneira geral, as variáveis (fatores ambientais) que influenciaram o desenvolvimento em altura total podem ser comparados àqueles que mais influenciaram o desenvolvimento em diâmetro para a maioria das espécies (Tabela 12). Isso porque, mesmo que tais fatores não sejam necessariamente os mesmos,

na maioria dos casos, em ambas as modelagens representam fatores fortemente correlacionados entre si.

Esse é o caso das relações de dependência e consequência existentes entre fatores como a acidez potencial do solo e a disponibilidade de bases trocáveis como Mg^{2+} e Ca^{2+} , que afetam diretamente a CTC e a soma de bases existente, sendo estas últimas, no entanto, ainda diretamente influenciadas pelas propriedades físicas do solo (como o teor de argila e silte) e a presença de matéria orgânica agregada.

Tabela 12 - Modelos de regressão linear para o crescimento em altura total, em função da idade do reflorestamento e do fator ambiental mais influente para quinze espécies nativas do estado de São Paulo. H+AI = acidez potencial do solo; Sil = teor de silte; Mg = teor de magnésio; Arg = teor de argila; CTC = capacidade de troca de cátions; SB = soma de bases; Al = teor de alumínio

Espécie	Modelo - HT ~ f(Idade, fator)	Fator	R ²
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>colubrina</i>	$\ln(HT) = 0,72983 + 1,55171 * \text{LN}(\text{Idade})^{0,5} - 0,04796 * \text{LN}(\text{Fator})^2$	H+AI	0,68
<i>Aspidosperma polyneuron</i>	$\ln(HT)^2 = -4,6389 + 3,2029 * \text{LN}(\text{Idade})$	*	0,68
<i>Astronium graveolens</i>	$\ln(HT)^2 = 2,0688 + 1,8885 * \text{LN}(\text{Idade})$	*	0,54
<i>Balfourodendron riedelianum</i>	$\ln(HT)^2 = -11,88129 + 9,68099 * \text{LN}(\text{Idade})^{0,5} + 0,07476 * \text{LN}(\text{Fator})^2$	Sil	0,52
<i>Cariniana estrellensis</i>	$\ln(HT)^2 = -8,69587 + 8,7844 * \text{LN}(\text{Idade})^{0,5} + 0,19791 * \text{LN}(\text{Fator})^2$	Mg	0,66
<i>Cariniana legalis</i>	$\ln(HT)^{0,5} = -0,11608 + 0,59794 * \text{LN}(\text{Idade})^{0,5} + 0,29768 * \text{LN}(\text{Fator})^{0,5}$	Arg	0,69
<i>Cedrela fissilis</i>	$\ln(HT)^{0,5} = 0,37306 + 0,51686 * \text{LN}(\text{Idade})^{0,5} + 0,12315 * \text{LN}(\text{Fator})$	Mg	0,63
<i>Centrolobium tomentosum</i>	$\ln(HT)^{0,5} = 0,691768 + 0,4049 * \text{LN}(\text{Idade})^{0,5} + 0,010593 * \text{LN}(\text{Fator})^2$	CTC	0,68
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	$\ln(HT)^2 = -8,32866 + 8,4972 * \text{LN}(\text{Idade})^{0,5} + 0,12462 * \text{LN}(\text{Fator})^2$	SB	0,74
<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	$\ln(HT)^{0,5} = 0,662478 + 0,467975 * \text{LN}(\text{Idade})^{0,5} + 0,007041 * \text{LN}(\text{Fator})^2$	SB	0,75
<i>Gallsia integrifolia</i>	$\ln(HT)^{0,5} = 0,561514 + 0,494282 * \text{LN}(\text{Idade})^{0,5} + 0,010491 * \text{LN}(\text{Fator})^2$	Ca	0,56
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	$\ln(HT)^2 = -4,556 + 6,0049 * \text{LN}(\text{Idade})^{0,5} + 1,1235 * (\text{Fator})^{0,5}$	Al	0,64
<i>Hymenaea courbaril</i>	$\ln(HT)^{0,5} = 0,81698 + 0,45307 * \text{LN}(\text{Idade})^{0,5}$	*	0,64
<i>Myroxylon peruiferum</i>	$\ln(HT) = -0,96481 + 1,63866 * \text{LN}(\text{Idade})^{0,5} + 0,48235 * \text{LN}(\text{Fator})^{0,5}$	Mg	0,76
<i>Peltophorum dubium</i>	$\ln(HT) = -0,223738 + 1,693613 * \text{LN}(\text{Idade})^{0,5} + 0,019811 * \text{LN}(\text{Fator})^2$	Mg	0,54

Notas: * Indica espécie que não apresenta um fator ambiental determinante para o desenvolvimento da altura total

Na Tabela 13 são apresentadas as perspectivas de crescimento em altura total para as referidas espécies, ainda sob condições de sítios de alta, moderada e baixa produtividade. Os modelos gráficos para a altura total podem ser visualizados no ANEXO C. Assim, observa-se que, aos 30 anos, 80% das espécies apresentaram alturas superiores a 18 m nos sítios mais produtivos, sendo que a maioria das espécies que apresentaram as maiores alturas total nessa idade, representam aquelas com os maiores diâmetros relacionados na seção anterior.

Tabela 13 – Estimativas do crescimento em altura total para quinze espécies nativas e potenciais para a produção de madeira no estado de São Paulo, segundo estimativas de baixa, média e alta produtividade, nas idades de 15, 20, 30, 40 e 50 anos. FA = fator ambiental; H+Al = acidez potencial; sil = teor de silte no solo; Mg = teor de magnésio no solo; Arg = teor de argila no solo; CTC = capacidade de troca de cátions; SB = soma de bases do solo; Ca = teor de cálcio no solo; Al = teor de alumínio no solo; Ano = idade do reflorestamento; B = sítio com baixa produtividade em função do fator ambiental; M = sítio de produtividade moderada em função do fator ambiental; A = sítio com alta produtividade em função do fator ambiental; SF = estimativa da altura total para as espécies que não apresentaram correlação com os fatores ambientais mensurados, não tendo sua altura total estimada para diferentes produtividades

Espécie	FA	Ano	HT (m)				Ano	HT (m)				Ano	HT (m)				Ano	HT (m)								
			B	M	A	SF		B	M	A	SF		B	M	A	SF		B	M	A	SF					
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>colubrina</i>	H+Al		13,10	13,76	17,10	*		14,95	15,71	19,51	*		17,83	18,73	23,27	*		20,07	21,09	26,19	*		21,93	23,05	28,63	*
<i>Aspidosperma polyneuron</i>	*		*	*	*	7,45		*	*	*	9,26		*	*	*	12,19		*	*	*	14,57		*	*	*	16,59
<i>Astronium graveolens</i>	*		*	*	*	14,59		*	*	*	16,11		*	*	*	18,43		*	*	*	20,20		*	*	*	21,65
<i>Balfourodendron riedelianum</i>	Sil		11,40	11,86	12,81	*		13,43	13,94	14,98	*		16,46	17,04	18,22	*		18,73	19,36	20,64	*		20,56	21,23	22,59	*
<i>Cariniana estrellensis</i>	Mg		11,02	14,57	16,71	*		12,82	16,69	19,03	*		15,48	19,82	22,43	*		17,45	22,13	24,94	*		19,03	23,98	26,94	*
<i>Cariniana legalis</i>	Arg		12,02	13,14	14,24	*		14,15	15,51	16,85	*		17,72	19,51	21,26	*		20,74	22,88	25,00	*		23,39	25,86	28,30	*
<i>Cedrela fissilis</i>	Mg		4,52	10,58	14,32	*		5,05	12,13	16,56	*		5,88	14,65	20,23	*		6,54	16,70	23,23	*		7,10	18,46	25,82	*
<i>Centrolobium tomentosum</i>	CTC	15	9,90	11,66	14,68	*	20	11,00	13,00	16,46	*	30	12,71	15,09	19,23	*	40	14,04	16,73	21,41	*	50	15,14	18,09	23,23	*
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	SB		10,81	16,44	19,57	*		12,53	18,65	22,05	*		15,06	21,90	25,67	*		16,93	24,28	28,33	*		18,42	26,19	30,44	*
<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	SB		7,80	9,81	12,08	*		8,76	11,08	13,72	*		10,27	13,11	16,34	*		11,47	14,72	18,44	*		12,48	16,08	20,22	*
<i>Galesia integrifolia</i>	Ca		8,33	11,17	14,72	*		9,44	12,75	16,93	*		11,20	15,30	20,51	*		12,61	17,36	23,42	*		13,81	19,11	25,91	*
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Al		10,05	12,30	17,56	*		11,20	13,59	19,17	*		12,85	15,44	21,47	*		14,03	16,77	23,12	*		14,97	17,81	24,41	*
<i>Hymenaea courbaril</i>	*		*	*	*	11,49		*	*	*	12,98		*	*	*	15,35		*	*	*	17,23		*	*	*	18,82
<i>Myroxylon peruiferum</i>	Mg		6,21	12,18	13,59	*		7,14	14,01	15,63	*		8,60	16,87	18,82	*		9,75	19,12	21,33	*		10,70	21,00	23,43	*
<i>Peltophorum dubium</i>	Mg		12,98	13,67	15,42	*		14,99	15,79	17,81	*		18,17	19,14	21,58	*		20,68	21,78	24,56	*		22,78	24,00	27,06	*

Notas: * Indica espécie que não apresenta um fator ambiental determinante para o desenvolvimento da altura total

A alta dependência dos fatores edáficos no desenvolvimento da altura foi evidente para diversas espécies, como *C. fissilis*, *E. contortisiliquum*, *G. integrifolia*, *H. heptaphyllus* e *M. peruiferum*, as quais demonstraram diferenças notáveis entre os sítios. Dentre estas, *C. fissilis* apresenta a maior dependência, sendo o Mg um nutriente do solo altamente influenciável na altura (da mesma forma que foi fortemente influenciável na produção diamétrica). Por outro lado, *B. riedelianum* e *P. dubium* demonstraram dependência fraca dos fatores ambientais, sendo que, possivelmente, o desenvolvimento em altura possa estar condicionado a outras variáveis não mensuradas neste trabalho, tal como a densidade de indivíduos no entorno das árvores avaliadas.

As espécies com maior destaque para o crescimento em altura foram *E. contortisiliquum*, *A. colubrina* var. *colubrina*, *C. legalis* e *C. estrellensis*. Em contrapartida, *A. polyneuron* e *H. courbaril* apresentaram alturas muito reduzidas, porém, da mesma forma que para o diâmetro, estas espécies provavelmente apresentam o crescimento condicionado a fatores ambientais não mensurados.

Estas duas últimas, no entanto, apresentaram comportamentos diferentes em relação à distribuição dos dados e de acordo com os fatores ambientais observados em campo. Assim, *A. polyneuron* apresentou baixa variabilidade dos dados nas idades estudadas e o baixo índice de crescimento de *A. polyneuron* pode estar mais associado à competição por luz na estrutura vertical da floresta, bem como pelas características genéticas da espécie. Já no caso de *H. courbaril* há que se destacar que esta espécie apresentou uma elevada variabilidade entre os indivíduos amostrados em campo, sendo a causa mais provável desta heterogeneidade os fatores físicos não mensurados (principalmente a competição por luz) e a variação genética das populações avaliadas.

A espécie *C. tomentosum* apresentou crescimento ligeiramente próximo de *E. leiocarpa*, sendo que ambas obtiveram alturas em torno de 15 e 12 m, respectivamente nos melhores sítios, aos 15 anos, ao passo que atingem as mesmas dimensões nos sítios menos produtivos aos 50 anos, demonstrando forte influência da fertilidade do solo para o crescimento em altura total. Carvalho (2003) aponta forte variabilidade no crescimento em altura para *C. tomentosum*, conforme observado na dinâmica apresentada pela tabela anterior, podendo esta variabilidade estar diretamente relacionada à disponibilidade de luz na estrutura da floresta.

No geral, a altura total atingida pode ser interpretada como uma variável determinante do potencial de cada espécie atingir o dossel em plantios mistos de restauração florestal, minimizando as chances de permanecer na condição de dominada no sub-dossel. Espécies com maiores chances de serem dominadas na estrutura vertical da floresta podem depender do desbaste seletivo de árvores ou de linhas de plantio circunvizinhas para viabilizar a produção e extração comercial de madeira.

4.1.5 Modelagem do crescimento para a altura comercial

O desenvolvimento da altura comercial das espécies estudadas foi modelado seguindo os mesmos princípios e técnicas adotadas nos parâmetros anteriores, ou seja, a altura comercial foi modelada segundo a idade e o fator ambiental que mais influenciou a variabilidade deste parâmetro (Tabela 14).

Tabela 14 – Fatores ambientais influentes no desenvolvimento da altura comercial das espécies analisadas e seu valor mediano. r = coeficiente de correlação de Spearman

Espécie	Fator - HC	Valor mediano do fator	r	Valor p
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>colubrina</i>	H+Al	41 mmolc/dm ³	-0,57	$2,2 \times 10^{-16}$
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i>	*	*	*	*
<i>Aspidosperma polyneuron</i>	*	*	*	*
<i>Astronium graveolens</i>	Fósforo	36,37 mg/dm ³	0,44	$1,48 \times 10^{-07}$
<i>Balfourodendron riedelianum</i>	Silte	192,4 g/Kg	0,68	$2,2 \times 10^{-16}$
<i>Cariniana estrellensis</i>	*	*	*	*
<i>Cariniana legalis</i>	Argila	458,9 g/Kg	-0,33	$2,26 \times 10^{-03}$
<i>Centrolobium tomentosum</i>	Potássio	0,25 mmolc/dm ³	0,46	$2,41 \times 10^{-09}$
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Matéria orgânica	21,66 g/dm ³	0,64	$2,2 \times 10^{-16}$
<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	Potássio	0,25 mmolc/dm ³	0,65	$2,2 \times 10^{-16}$
<i>Gallesia integrifolia</i>	Potássio	0,15 mmolc/dm ³	0,33	$1,10 \times 10^{-06}$
<i>Hymenaea courbaril</i>	Cálcio	51,45 mmolc/dm ³	0,51	$4,65 \times 10^{-13}$
<i>Myroxylon peruiferum</i>	Deficiência hídrica	45 mm	0,49	$2,2 \times 10^{-16}$

Notas: * Indica espécie que não apresenta fator ambiental determinante para o desenvolvimento da altura comercial

Algumas espécies não apresentaram correlação entre a altura comercial e a idade dos indivíduos, não sendo possível a sua modelagem, como é o caso de *C. fissilis* ($r = 0,33$), *H. heptaphyllus* ($r = 0,47$) e *P. dubium* ($r = 0,33$).

Observou-se que os coeficientes de determinação (R^2) dos modelos de regressão linear múltipla estabelecidos para o desenvolvimento da altura comercial

demonstraram valores variando, principalmente, entre 0,4 e 0,6, o que evidenciou que a altura comercial esteve, em grande parte das espécies, dependente de outros fatores ambientais não mensurados neste trabalho (Tabela 15). Tais fatores podem estar associados às características estruturais e da composição da floresta em formação como, por exemplo, competição entre plantas e condições de luz, além dos fatores genéticos.

Tabela 15 – Modelos de regressão linear para o crescimento em altura comercial em função da idade do reflorestamento e do fator ambiental mais influente para treze espécies nativas do estado de São Paulo. H+Al = acidez potencial; P = teor de fósforo no solo; Sil = teor de silte no solo; Arg = teor de argila no solo; K = teor de potássio no solo; MO = matéria orgânica; Ca = teor de cálcio no solo; Def = deficiência hídrica anual

Espécie	Modelo - HC ~ f(Idade, fator)	Fator	R2
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>colubrina</i>	$HC = 9,024779 + 0,073593 * Idade - 0,595933 * LN(Fator)^2$	H+Al	0,55
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i>	$HC^2 = -14,5779 + 6,51 * LN(Idade)^2$	*	0,50
<i>Aspidosperma polyneuron</i>	$HC^{0,5} = 0,5262 + 0,171 * LN(Idade)^2$	*	0,57
<i>Astronium graveolens</i>	$HC = -1,494513 + 0,662804 * (Idade)^{0,5} + 0,00178 * Fator^2$	P	0,35
<i>Balfourodendron riedelianum</i>	$HC^{0,5} = -2,17701 + 0,11377 * LN(Idade)^2 + 0,1128 * LN(Fator)^2$	Sil	0,55
<i>Cariniana estrellensis</i>	$HC^{0,5} = -0,22303 + 0,85923 * LN(Idade)$	*	0,49
<i>Cariniana legalis</i>	$HC^{0,5} = 3,46662 + 0,69318 * LN(Idade) - 0,06747 * LN(Fator)^2$	Arg	0,59
<i>Centrolobium tomentosum</i>	$HC^{0,5} = 0,82328 + 0,06553 * LN(Idade)^2 + 1,54824 * (Fator)^{0,5}$	K	0,44
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	$HC^{0,5} = -0,52468 + 0,10043 * LN(Idade)^2 + 0,11888 * LN(Fator)^2$	MO	0,52
<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	$HC^{0,5} = -0,32996 + 0,03339 * LN(Idade)^2 + 9,22029 * (Fator)^2$	K	0,70
<i>Gallesia integrifolia</i>	$HC = 0,05424 + 0,22387 * LN(Idade)^2 + 10,03468 * (Fator)^2$	K	0,48
<i>Hymenaea courbaril</i>	$HC = 0,93448 + 0,41241 * LN(Idade)^2 + 0,11732 * LN(Fator)$	Ca	0,54
<i>Myroxylon peruiferum</i>	$HC^{0,5} = -1,26654 + 0,12449 * LN(Idade)^2 + 0,9065 * LN(Fator)^{0,5}$	Def	0,41

Notas: * Indica espécie não apresenta um fator ambiental determinante para o desenvolvimento da altura comercial.

Nesse sentido, outros estudos demonstraram que o nível de sombreamento em que a plântula/muda é submetido ao longo do período de crescimento inicial pode ser fortemente determinante da qualidade do fuste, o qual pode ser ainda mais potencializado pelas características silviculturais, como a desrama e cicatrização naturais inerentes às espécies (CARVALHO, 2003, 2006; KAGEYAMA; BIELLA; PALERMO JUNIOR, 1990; KAGEYAMA; CASTRO, 1989; INOUE, 1977).

Apesar disso, esses modelos evidenciaram uma clara influência das condições edáficas e das características do sítio sobre a altura comercial, demonstrando que solos mais férteis normalmente produzem fustes melhores para a

produção comercial de madeira serrada de espécies nativas em condições de plantios de restauração florestal.

Por outro lado, a espécie *M. peruiferum*, demonstrou um comportamento diferenciado, tendo a deficiência hídrica como fator que melhor explica a influência de uma variável ambiental na formação do fuste comercial de maior qualidade, ou seja, em solos com maior escassez de água, os indivíduos apresentam fustes mais alongados. Nesse sentido, Carvalho (2006) afirma que tal espécie ocorre naturalmente em solos pedregosos e em encostas de solos de boa fertilidade, o que pode explicar a habilidade de adaptação da espécie a solos mais secos e bem drenados. Ainda que as propriedades do solo sejam importantes, vale lembrar que o modelo gerado não foi capaz de explicar totalmente o crescimento da altura comercial ($R^2 = 0,41$), o que reforçou a importância dos demais fatores condicionantes da formação do fuste comercial, como a condução do crescimento da planta através do sombreamento por espécies adjacentes de crescimento mais rápido, por exemplo.

Com base nisso, foram apresentadas estimativas do desenvolvimento da altura comercial para estas espécies, segundo as perspectivas de baixa, moderada e elevada produtividade dos sítios para as idades de 15, 20, 30, 40 e 50 anos (Tabela 16).

A espécie que apresentou o melhor desenvolvimento da altura comercial foi *C. legalis*, alcançando os 10,08 m, em solos com menor porcentagem de argila, aos 15 anos, reagindo de forma contrária ao comportamento apresentado para a altura total, onde o maior teor de argila contribuiu positivamente para o aumento da altura total dos indivíduos. Nesse sentido, Carvalho (2003) destacou que *C. legalis* é encontrada naturalmente em solos de origem arenítica e basáltica, adaptando-se bem em solos de textura entre de franca e argilosa, o que apesar da controvérsia dos resultados obtidos, demonstra a plasticidade de adaptação e desenvolvimento da espécie. Ressalta-se, ainda, que a altura comercial desta espécie mantém-se elevada, relação às demais, independentemente das condições do sítio, o que torna desnecessárias a realização de procedimentos silviculturais para que a espécie produza madeira com boa qualidade de fuste para a serraria.

Tabela 16 – Estimativas do crescimento da altura comercial para treze espécies nativas e potenciais para a produção de madeira no estado de São Paulo, segundo estimativas de baixa, média e alta produtividade, nas idades de 15, 20, 30, 40 e 50 anos. FA = fator ambiental; H+Al = acidez potencial; P = teor de fósforo no solo; sil = teor de silte no solo; Arg = teor de argila no solo; K = teor de potássio no solo; MO = matéria orgânica do solo; Ca = teor de cálcio no solo; Def = deficiência hídrica; Ano = idade do reflorestamento; B = sítio com baixa produtividade em função do fator ambiental; M = sítio de produtividade moderada em função do fator ambiental; A = sítio com alta produtividade em função do fator ambiental; SF = estimativa da altura comercial para as espécies que não apresentaram correlação com os fatores ambientais mensurados, não tendo sua altura comercial estimada para diferentes produtividades

Espécie	FA	Ano	HC (m)				Ano	HC (m)				Ano	HC (m)				Ano	HC (m)								
			B	M	A	SF		B	M	A	SF		B	M	A	SF		B	M	A	SF					
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>colubrina</i>	H+Al		1,29	1,91	4,60	...		1,66	2,28	4,97	...		2,40	3,01	5,71	...		3,13	3,75	6,44	...		3,87	4,49	7,18	...
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i>	*		...	...	...	5,76		...	...	...	6,62		...	...	...	7,79		...	...	...	8,60		...	...	...	9,22
<i>Aspidosperma polyneuron</i>	*		...	...	...	3,17		...	...	...	4,25		...	...	...	6,27		...	...	...	8,14		...	...	...	9,88
<i>Astronium graveolens</i>	P		2,97	3,43	6,60	...		3,36	3,82	7,00	...		4,03	4,49	7,66	...		4,59	5,05	8,23	...		5,09	5,55	8,72	...
<i>Balfourodendron riedelianum</i>	Sil		2,20	3,16	5,56	...		2,79	3,86	6,47	...		3,87	5,11	8,06	...		4,83	6,21	9,43	...		5,72	7,21	10,66	...
<i>Cariniana estrellensis</i>	*		...	...	...	4,43		...	...	...	5,53		...	...	...	7,29		...	...	...	8,68		...	...	...	9,85
<i>Cariniana legalis</i>	Arg	15	6,01	7,89	10,08	...	20	7,02	9,05	11,38	...	30	8,59	10,82	13,86	...	40	9,80	12,18	14,85	...	50	10,79	13,28	16,07	...
<i>Centropogon tomentosum</i>	K		3,30	4,32	6,11	...		3,71	4,78	6,66	...		4,39	5,55	7,56	...		4,97	6,20	8,32	...		5,47	6,76	8,97	...
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	MO		0,75	1,79	3,53	...		1,07	2,25	4,17	...		1,67	3,10	5,30	...		2,24	3,87	6,29	...		2,78	4,57	7,17	...
<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	K		0,08	0,24	8,47	...		0,11	0,30	8,79	...		0,18	0,40	9,31	...		0,24	0,49	9,73	...		0,30	0,57	10,09	...
<i>Gallesia integrifolia</i>	K		1,82	1,92	4,62	...		2,18	2,29	4,99	...		2,77	2,87	5,57	...		3,22	3,33	6,03	...		3,60	3,71	6,41	...
<i>Hymenaea courbaril</i>	Ca		3,82	4,15	4,20	...		4,50	4,83	4,88	...		5,57	5,90	5,95	...		6,41	6,74	6,79	...		7,11	7,44	7,49	...
<i>Myroxylon peruiferum</i>	Def		1,10	2,00	2,41	...		1,57	2,62	3,08	...		2,49	3,77	4,32	...		3,35	4,82	5,44	...		4,17	5,80	6,47	...

Notas: * Indica espécie que não apresenta um fator ambiental determinante para o desenvolvimento da altura comercial.

Outras espécies que apresentaram alturas comerciais consideráveis foram *A. graveolens*, *A. polyneuron*, *B. riedelianum*, *C. tomentosum*, *A. colubrina* var. *cebil* e *C. estrellensis*. Observou-se, porém, que algumas destas espécies apresentaram alturas reduzidas para os sítios de menor qualidade, exigindo atenção e possíveis intervenções de poda / desrama ao longo do desenvolvimento das florestas para que uma melhor qualidade de fuste seja formada.

Já as espécies com baixo potencial de formação de altura comercial foram *E. contortisiliquum*, *E. leiocarpa* e *M. peruiferum*, as quais demonstraram ser exigentes de manejo silvicultural para a formação de fuste comercial para a serraria, as quais variam entre crescimento tutorado pela sombra de espécies adjacentes de crescimento mais rápido e intervenções de poda e desrama para a condução do crescimento de apenas um fuste por planta.

E. leiocarpa, no entretanto, apresentou um resultado interessante em relação à boa formação da altura comercial nos sítios de melhor qualidade, pois sabe-se que a espécie tende a sofrer intensa ramificação e acamamento do caule quando exposta à incidência de luz excessiva ou outro fator ambiental desconhecido. Porém, nos melhores sítios a espécie desenvolveu boas alturas comerciais, reforçando a observação realizada em campo sobre a grande variabilidade da espécie e a exigência da espécie por manejo adequado.

Observando-se, ainda, a Tabela 16, pode-se observar, no entanto, que mesmo sem nenhuma condução artificial do crescimento, algumas espécies apresentaram alturas comerciais consideráveis. Aos 30 anos, por exemplo, 69,23% das espécies apresentaram fustes com altura comercial superior a 6 m. Ao considerar alturas comerciais maiores que 5,5 m, esse número aumenta para 92,30%. Com isso, considera-se que os fatores edáficos – apesar de bastante influentes em alguns casos – não podem ser considerados como fatores limitantes ao incremento da altura comercial, estando estes mais condicionados à exposição das plantas à luz e aos fatores genéticos associados.

4.1.6 Comportamento silvicultural das espécies estudadas

O conhecimento sobre o desenvolvimento diamétrico das espécies avaliadas é de grande importância, mas deve ser ainda complementado pela identificação das características do comportamento silvicultural das mesmas, ao longo do crescimento, evidenciando o potencial natural das espécies bem como a necessidade de interferências de manejo silvicultural para a melhoria da qualidade dos fustes para a produção de madeira serrada. Desse modo, esta seção faz uma análise descritiva das situações observadas em campo para as espécies avaliadas.

Para melhor compreender os padrões silviculturais alcançados por cada espécie em diferentes fases do seu desenvolvimento, agrupou-se os dados dos reflorestamentos avaliados em períodos teóricos de 0 a 20 anos, 20 a 40 anos e 40 a 100 anos, obtendo-se as médias das alturas total e comercial (e seus respectivos desvios padrão), bem como as modas para o número de fustes, qualidade da árvore e nível de exposição da planta à luz encontrados nos diferentes grupos de idades (Tabela 17).

Houve uma alta variabilidade entre os dados encontrados, com grande parte das espécies apresentando elevados índices de desvio padrão para as alturas total e comercial, principalmente nos grupos de idades mais jovens. Isso evidencia uma tendência de homogeneização desses parâmetros à medida que ocorre o amadurecimento e estabilização da floresta. Outra causa provável desses índices pode ser considerada como o reduzido tamanho da amostra encontrado para algumas espécies, em algumas idades, as quais possivelmente não foram plantadas em um número elevado de indivíduos ou apresentaram alta mortalidade ao longo do desenvolvimento do plantio.

Foi identificada a ocorrência de poucas espécies dominantes nos reflorestamentos (nível de exposição à luz igual a 3), com nenhuma espécie com este índice no grupo de 0 a 20 anos, quatro espécies no grupo de 20 a 40 anos (25%) e seis espécies dominantes na idade de 40 a 100 anos (37,5%), sendo que tais espécies não demonstraram-se dominantes necessariamente nas duas idades mencionadas, ocupando posições diferentes no dossel de acordo a composição e estrutura do reflorestamento.

Tabela 17 – Panorama geral do comportamento silvicultural de espécies nativas com potencial madeireiro, avaliadas no estado de São Paulo, em agrupamentos teóricos de idades (0 a 20, 20 a 40 e 40 a 100 anos). São apresentadas as médias e respectivos desvios padrão para altura total e altura comercial. Para número de fustes, qualidade da árvore e nível de exposição à luz são apresentadas as modas. RF = número de reflorestamentos em que a espécie ocorreu; N = número de indivíduos encontrados; HT = altura total; HC = altura comercial; NF = número de fustes; QA = qualidade da árvore; NL = nível de exposição à luz pela planta

Espécie	0 – 20 anos						20 - 40 anos						40 - 100 anos								
	RF	N	HT (m)	HC (m)	NF	QA	NL	RF	N	HT (m)	HC (m)	NF	QA	NL	RF	N	HT (m)	HC (m)	NF	QA	NL
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i>	3	89	11,85±3,21	3,39±2,11	1	3	2	1	2	**	**	**	**	**	1	4	26,10±6,92	8,32±4,14	1	1	3
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>Colubrina</i>	4	56	10,91±4,25	1,88±1,39	4	3	2	2	64	18,64±4,03	3,93±2,67	3	2	3	1	18	32,61±5,47	9,11±4,38	2	3	2
<i>Aspidosperma polyneuron</i>	3	71	5,23±2,30	2,72±1,72	1	1	1	1	7	9,11±3,21	6,3±2,7	1	1	1	2	6	21,73±4,29	11,0±4,05	1	1	2
<i>Astroniun graveolens</i>	2	45	12,67±2,31	4,40±2,22	2	2	2	2	32	5,3±2,40	4,35±2,33	1	2	1	2	19	28,15±15,34	7,2±1,13	1	2	2
<i>Balfourodendron riedelianum</i>	0	0	**	**	**	**	**	3	49	16,21±4,26	4,89±3,1	2	2	3	3	60	23,82±4,77	10,73±3,78	1	1	3
<i>Cariniana estrellensis</i>	4	60	9,92±4,17	3,47±2,36	1	2	2	4	119	18,15±6,87	6,38±2,81	1	1	3	2	38	28,60±7,01	12,69±3,47	1	1	3
<i>Cariniana legalis</i>	4	35	10,88±2,94	6,72±1,99	1	1	1	2	44	20,67±5,21	10,05±2,1	1	1	3	1	18	25,87±6,95	15,6±3,67	1	1	3
<i>Cedrela fissilis</i>	5	133	10,35±4,44	3,40±2,20	1	2	1	4	64	11,40±3,41	3,67±1,38	1	2	1	2	2	**	**	**	**	**
<i>Centrolobium tomentosum</i>	4	50	9,44±4,39	3,83±2,33	1	1	2	2	66	13,67±3,51	4,60±2,17	1	2	2	3	46	24,66±6,31	10,28±3,74	1	1	2
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	4	92	13,54±7,09	2,47±2,51	2	3	2	2	59	16,87±3,60	3,28±1,83	6	2	2	2	30	30,37±6,90	6,75±4,3	1	3	3
<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	2	59	8,04±3,07	1,22±1,02	6	3	2	1	30	12,57±3,42	1,94±3,30	6	4	2	3	55	20,18±4,91	9,45±3,67	1	1	2
<i>Gallesia integrifolia</i>	3	71	9,62±4,57	2,38±1,72	2	3	2	3	41	13,93±5,97	3,00±1,47	1	2	1	2	32	23,30±6,43	6,71±3,19	1	2	2
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	2	30	11,12±2,58	...	...	...	...	4	34	11,83±3,23	4,22±2,41	2	2	1	2	13	23,82±4,29	7,81±2,79	1	1	3
<i>Hymenaea courbaril</i>	5	122	10,34±3,22	3,94±2,23	1	2	2	1	1	**	**	**	**	**	3	42	20,72±5,85	7,91±2,95	1	2	2
<i>Myroxylon peruiferum</i>	4	110	8,58±3,74	2,34±2,00	1	3	1	3	78	16,20±6,31	3,57±2,69	2	2	2	3	56	23,10±7,12	8,81±3,93	1	2	1
<i>Peltophorum dubium</i>	5	151	13,32±4,34	3,75±1,73	2	2	2	3	63	16,94±3,05	4,29±2,19	1	2	2	1	1	**	**	**	**	**

Notas: ** Indica dado não informado por insuficiência da amostra

... Dado não coletado

As espécie que apresentaram melhor qualidade de fuste foram *A. polyneuron* (ainda que o menor diâmetro), *C. estrellensis*, *C. legalis* e *C. tomentosum*, coincidindo com os índices de maiores alturas comerciais encontradas na seção anterior. Estas espécies indicaram a qualidade de classe “1” para todos os grupos de idade ou, pelo menos, dois deles. Seus indivíduos se encontraram, em sua maioria, posicionados nas classes de exposição à luz entre 1 e 2 na idade mais jovem, sendo que *C. estrellensis* e *C. legalis* assumem o dossel do reflorestamento a partir do segundo grupo etário.

Em contrapartida, as espécies com índices de qualidade inferior e número de fustes elevado foram *A. colubrina* var. *cebil*, *A. colubrina* var. *colubrina*, *E. contortisiliquum* e *E. leiocarpa*. Todas estas espécies apresentaram um nível de exposição à luz de classe 2 nas fases iniciais dos reflorestamentos, o que ressalta o argumento anteriormente citado sobre a necessidade de condução do crescimento destas espécies para a formação de fustes com melhor qualidade.

Nesse mesmo contexto, índices de qualidade mediana (classe = 2 ou 3) com formação de um único fuste foram encontrados para espécies como *A. graveolens*, *C. fissilis*, *G. integrifolia*, *H. courbaril* e *M. peruiferum*, o que demonstra a ausência de bifurcações e/ou perda de dominância apical, porém a formação de fuste tortuoso. A primeira espécie (*A. graveolens*), de ocorrência típica em clareiras, apresenta fuste natural ereto sob estas condições, o que denota uma possível influência dos fatores genéticos como explicação para os resultados obtidos. No caso das demais espécies, é possível que tais fatores sejam ainda influentes, porém, devido ao comportamento silvicultural característico das mesmas, entende-se que o fator relacionado à incidência de luz seja o maior responsável pelo comportamento observado.

Com isso, novamente, este fato reforça a importância do crescimento em ambiente sombreado para os indivíduos de espécies com esta tendência, já que a competição por luz proveniente do dossel estimula a planta ao crescimento em altura, formando melhores formas de fustes (CARVALHO, 2003, 2006; INOUE, 1977; SEBEN et al., 1998).

Algumas espécies não apresentaram um padrão uniforme quanto ao comportamento silvicultural, como no caso de *E. leiocarpa* que obteve um grande número de fustes com classificação de qualidade ruim e péssima nos dois primeiros

grupos de idades, ao passo que obteve um único fuste e qualidade “1” para a maioria dos indivíduos no grupo mais maduro. Com isso, pensando na produção de madeira serrada de espécies nativas, ressalta-se a importância de um ambiente de crescimento adequado ao desenvolvimento das espécies com bom potencial de crescimento e formação de fuste comercial. Desse modo, o planejamento da estrutura e composição do plantio, bem como as ações de manejo silvicultural mostram-se necessárias para o melhor aproveitamento do verdadeiro potencial destas espécies.

A. graveolens demonstrou resultados contraditórios, uma vez que observou-se que a altura total encontrada no grupo de 0-20 anos é maior que no grupo de 20-40 anos. Isso pode ser explicado devido à altura total dessa espécie apresentar alta correlação positiva com a matéria orgânica ($r = 0,74$), teor de silte ($r = 0,73$) e de fósforo ($0,72$) no solo e correlação moderada negativa com a porcentagem de areia ($r = -0,66$). Assim, devido ao fato desta espécie ter ocorrido apenas no reflorestamento ROS (município de Rosana) no segundo grupo de idades, essa inconsistência dos resultados pode estar relacionada ao fato deste reflorestamento ter apresentado baixos índices de matéria orgânica ($10,47 \text{ g/dm}^3$) e solo de textura arenosa (73% de areia) com baixa porcentagem de silte (8%).

Por outro lado, *A. colubrina* var. *colubrina*, espécie que apresentou um bom crescimento em diâmetro, possui qualidade de fuste ruim, com vários fustes, indicando grande tendência à perda de dominância apical e, conseqüentemente, à formação de bifurcações. Ao contrário desta, *A. polyneuron*, apresentou ótima formação de fuste, ainda que tenha um crescimento natural muito lento.

B. riedelianum demonstrou bom potencial de crescimento em altura total e formação de altura comercial considerável, porém, desenvolveu bifurcações no segundo grupo de idades, provavelmente por falhas no sombreamento da planta na fase jovem. O mesmo pode ser aplicado a *C. tomentosum*, que possui boas expectativas para a formação de fuste comercial, podendo apresentar bifurcações, dependendo do manejo adotado. Para esse grupo de espécies, podas de condução podem ser utilizadas para corrigir os fustes e melhorar a qualidade do mesmo para a exploração futura de madeira serrada, conforme indicado por Carvalho (2003).

Dessa maneira, vale lembrar que, em se tratando de plantios heterogêneos, com o objetivo da restauração florestal, compostos por espécies com diferentes

funções no ecossistema e diferentes hábitos de desenvolvimento, é importante definir claramente os objetivos do projeto e quais espécies pretende-se manejar para a extração de madeira. Isso tende a facilitar o planejamento da estrutura e composição da floresta almejada, reduz o investimento de recursos financeiros e energéticos no projeto e otimiza, significativamente, as operações de manutenção, manejo silvicultural e colheita da madeira produzida.

4.2 Desenvolvimento das espécies selecionadas sob melhores condições de crescimento e manejo em plantios de restauração florestal

Os resultados apresentados nesta seção refletem uma análise diferenciada dos dados trabalhados na seção anterior, tendo havido, no entanto, uma seleção criteriosa dos 25% melhores indivíduos (quartil superior) – em cada idade analisada, em relação ao DAP – buscando-se estabelecer a perspectiva de crescimento das espécies a partir de um cenário mais favorável. Assim, induziu-se a análise – ainda que de maneira indireta – à lógica de um considerável incremento no crescimento diamétrico, supondo-se a adoção de tratamentos silviculturais adequados (fertilização do solo, manejo e condução de formação e manutenção do fuste de melhor qualidade). Assim, essa análise permitiu inferir sobre o potencial da espécie em produzir madeira caso seja oferecidas melhores condições de crescimento.

Nessa modelagem, houve também forte influência dos fatores edáficos na produção diamétrica, sendo que a manutenção ou recuperação da fertilidade do solo torna-se um importante aliado para um bom desempenho produtivo da floresta (Tabela 18).

Da mesma forma que para a modelagem anterior do diâmetro, *B. riedelianum* não obteve correlação entre o DAP e a idade da planta ($r = 0,36$), o que não permitiu a modelagem do diâmetro desta espécie.

Tabela 18 – Fatores ambientais influentes no desenvolvimento diamétrico potencial das espécies nativas analisadas no interior do estado de São Paulo e seu valor mediano. r = coeficiente de correlação de Spearman

Espécie	Fator - DAPpot	Valor mediano do fator	r	Valor p
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>colubrina</i>	*	*	*	*
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i>	pH	5,2	-0,41	0,3593
<i>Aspidosperma polyneuron</i>	Matéria orgânica	21,66 g/dm ³	0,59	0,0024
<i>Astronium graveolens</i>	*	*	*	*
<i>Cariniana estrellensis</i>	Cálcio	35,25 mmolc/dm ³	0,79	3,90x10 ⁻¹³
<i>Cariniana legalis</i>	Argila	458,9 g/Kg	0,37	0,0515
<i>Cedrela fissilis</i>	Magnésio	12,62 mmolc/dm ³	0,73	1,39x10 ⁻¹⁰
<i>Centrolobium tomentosum</i>	CTC	84,94 mmolc/dm ³	0,77	7,11x10 ⁻¹⁰
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Soma de bases	65,76 mmolc/dm ³	0,79	3,26x10 ⁻¹¹
<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	Argila	290,2 g/Kg	0,75	4,31x10 ⁻⁰⁷
<i>Gallesia integrifolia</i>	Cálcio	61,87 mmolc/dm ³	0,71	6,43x10 ⁻⁰⁷
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	*	*	*	*
<i>Hymenaea courbaril</i>	*	*	*	*
<i>Myroxylon peruiferum</i>	Areia	383,4 g/Kg	-0,66	1,08x10 ⁻⁰⁹
<i>Peltophorum dubium</i>	Magnésio	5,051 mmolc/dm ³	0,75	1,96x10 ⁻¹¹

Notas: * Indica espécie que não apresenta um fator ambiental determinante para o desenvolvimento do diâmetro.

4.2.1 Modelagem da produção diamétrica potencial

Diante da seleção dos indivíduos a partir da obtenção do quartil superior mencionada anteriormente, foram gerados modelos de regressão linear múltipla para a estimação do crescimento diamétrico de quinze das espécies nativas avaliadas, sendo obtidas as expectativas de crescimento do DAP com relação à idade do reflorestamento e ao fator ambiental responsável (Tabela 19). Tais modelos geraram, ainda, modelos não-lineares para a expectativa de maturação comercial dessas espécies, a partir do isolamento da idade do reflorestamento em função do DAP esperado (Tabela 20), gerando estimativas de crescimento em diâmetro para as espécies estudadas a partir dos indivíduos de melhor desempenho.

A modelagem diamétrica potencial para *B. riedelianum*, novamente, não pôde ser gerada em função do fraco coeficiente de correlação entre o DAP e a idade do reflorestamento.

Tabela 19 – Modelos de regressão linear para o crescimento diamétrico dos indivíduos de melhor potencial, em função da idade do reflorestamento e do fator ambiental condicionante para quinze espécies nativas do estado de São Paulo. MO = matéria orgânica; Ca = cálcio; Arg = argila; Mg = magnésio; CTC = capacidade de troca de cátions; SB = soma de bases

Espécie	Modelo - DAP ~ f(Idade, fator)	Fator	R2
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>colubrina</i>	$\log(\text{DAP})^{0,5} = 0,99175 + 0,55752 * \text{LN}(\text{Idade})^{0,5}$	*	0,41
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i>	$\log(\text{DAP})^{0,5} = 1,9291 + 0,3081 * \text{LN}(\text{Idade})^{0,5} - 0,438 * \text{LN}(\text{Fator})^{0,5}$	pH	0,51
<i>Aspidosperma polyneuron</i>	$\text{DAP}^{0,5} = 1,082278 + 0,49827 * \text{Idade}^{0,5} + 0,005222 * \text{Fator}$	MO	0,91
<i>Astronium graveolens</i>	$\log(\text{DAP})^2 = -3,0306 + 8,5326 * \text{LN}(\text{Idade})^{0,5}$	*	0,82
<i>Cariniana estrellensis</i>	$\log(\text{DAP}) = -0,432971 + 2,057476 * \text{LN}(\text{Idade})^{0,5} + 0,028103 * \text{LN}(\text{Fator})^2$	Ca	0,83
<i>Cariniana legalis</i>	$\log(\text{DAP}) = -8,4041 + 2,8867 * \text{LN}(\text{Idade})^{0,5} + 2,7766 * \text{LN}(\text{Fator})^{0,5}$	Arg	0,89
<i>Cedrela fissilis</i>	$\log(\text{DAP})^{0,5} = 0,707142 + 0,545139 * \text{LN}(\text{Idade})^{0,5} + 0,00789 * \text{Fator}$	Mg	0,66
<i>Centrolobium tomentosum</i>	$\log(\text{DAP})^2 = -2,9353 + 3,2155 * \text{LN}(\text{Idade}) + 0,3996 * (\text{Fator})^{0,5}$	CTC	0,88
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	$\log(\text{DAP})^2 = -13,18271 + 14,90492 * \text{LN}(\text{Idade})^{0,5} + 0,22729 * \text{LN}(\text{Fator})^2$	SB	0,79
<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	$\log(\text{DAP})^{0,5} = 1,405 + 0,0168 * \text{LN}(\text{Idade})^2 + 0,0004883 * \text{Fator}$	Arg	0,75
<i>Gallesia integrifolia</i>	$\log(\text{DAP})^2 = -3,22027 + 3,96258 * \text{LN}(\text{Idade}) + 0,23637 * \text{LN}(\text{Fator})^2$	Ca	0,81
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	$\text{DAP}^{0,5} = 2,47038 + 0,25261 * \text{LN}(\text{Idade})^2$	*	0,86
<i>Hymenaea courbaril</i>	$\log(\text{DAP}) = 1,52148 + 0,53254 * \text{LN}(\text{Idade})$	*	0,79
<i>Myroxylon peruiferum</i>	$\log(\text{DAP})^{0,5} = 1,082709 + 0,602641 * \text{LN}(\text{Idade})^{0,5} - 0,010618 * \text{LN}(\text{Fator})^2$	Areia	0,86
<i>Peltophorum dubium</i>	$\log(\text{DAP}) = 1,13057 + 1,23719 * \text{LN}(\text{Idade})^{0,5} + 0,18815 * \text{LN}(\text{Fator})^{0,5}$	Mg	0,64

Notas: * Indica espécie não apresenta um fator ambiental determinante para o desenvolvimento diamétrico.

Uma maior homogeneização da amostra foi conquistada com a seleção dos melhores indivíduos, permitindo a geração de modelos com coeficientes de determinação (R^2) mais representativos que na modelagem anterior, o que denota uma maior dependência das espécies aos fatores ambientais determinados, em detrimento de outros fatores não mensurados. Os modelos gráficos para a produção diamétrica potencial estão apresentados no ANEXO D.

De acordo com as expectativas de crescimento potencial das espécies (Tabela 21), *A. colubrina* var. *colubrina* destacou-se como a espécie mais produtiva em sítios de baixa produtividade, atingindo 38,29 cm de DAP logo aos 15 anos de idade. Ainda na perspectiva de baixa produtividade, aos 15 anos, outras espécies demonstraram alto potencial de crescimento diamétrico inicial, como *E. contortisiliquum* (29,12 cm), *A. colubrina* var. *cebil* (28,89 cm), *A. graveolens* (27,61 cm), *P. dubium* (24,61 cm), *C. estrellensis* (23,81 cm), *G. integrifolia* (21,24 cm) e *C. legalis* (19,26 cm), chegando aos 30 anos com, respectivamente, 44,03 cm, 36,29 cm, 35,32 cm, 31,47 cm, 35,83 cm, 32,34 cm e 34,18 cm de DAP.

Tabela 20 – Modelos não-lineares de projeção da idade esperada em função do diâmetro mínimo de corte previsto e do fator ambiental condicionante do crescimento para os indivíduos de melhor potencial para quatorze espécies nativas do estado de São Paulo

Espécie	Modelo - DAP ~ f(Idade, fator)
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>colubrina</i>	$\log(\text{Idade})^{0,5} = (1/0,55752) * \text{LN}(\text{DAP})^{0,5} - (0,99175/0,55752)$
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i>	$\log(\text{Idade})^{0,5} = (1/0,3081) * \text{LN}(\text{DAP})^{0,5} - (-0,438/0,3081) * \text{LN}(\text{Fator})^{0,5} - (1,9291/0,3081)$
<i>Aspidosperma polyneuron</i>	$\text{Idade}^{0,5} = (1/0,49827) * \text{DAP}^{0,5} - (0,005222/0,49827) * (\text{Fator}) - (1,082278/0,49827)$
<i>Astronium graveolens</i>	$\log(\text{Idade})^{0,5} = (1/8,5326) * \text{LN}(\text{DAP})^2 - (-3,0306/8,5326)^2$
<i>Cariniana estrellensis</i>	$\log(\text{Idade})^{0,5} = (1/2,057476) * \text{LN}(\text{DAP}) - (0,028103/2,057476) * \text{LN}(\text{Fator})^2 - (-0,432971/2,057476)^2$
<i>Cariniana legalis</i>	$\log(\text{Idade})^{0,5} = (1/2,8867) * \text{LN}(\text{DAP}) - (2,7766/2,8867) * \text{LN}(\text{Fator})^{0,5} - (-8,4041/2,8867)^2$
<i>Cedrela fissilis</i>	$\log(\text{Idade})^{0,5} = (1/0,545139) * \text{LN}(\text{DAP})^{0,5} - (0,00789/0,545139) * \text{Fator} - (0,707142/0,545139)$
<i>Centrolobium tomentosum</i>	$\log(\text{Idade}) = (1/3,2155) * \text{LN}(\text{DAP})^2 - (0,3996/3,2155) * (\text{Fator})^{0,5} - (-2,9353/3,2155)$
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	$\log(\text{Idade})^{0,5} = (1/14,90492) * \text{LN}(\text{DAP})^2 - (0,22729/14,90492) * \text{LN}(\text{fator})^2 - (-13,18271/14,90492)$
<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	$\log(\text{Idade})^2 = (1/0,0168) * \text{LN}(\text{DAP})^{0,5} - (0,0004883/0,0168) * (\text{Fator}) - (1,405/0,0168)$
<i>Gallesia integrifolia</i>	$\log(\text{Idade}) = (1/3,96258) * \text{LN}(\text{DAP})^2 - (0,23637/3,96258) * \text{LN}(\text{Fator})^2 - (-3,22027/3,96258)$
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	$\log(\text{Idade})^2 = (1/0,25261) * \text{DAP}^{0,5} - (2,47038/0,25261)$
<i>Hymenaea courbaril</i>	$\log(\text{Idade}) = (1/0,53254) * \text{LN}(\text{DAP}) - (1,52148/0,53254)$
<i>Myroxylon peruiferum</i>	$\log(\text{Idade})^{0,5} = (1/0,60264) * \text{LN}(\text{DAP})^{0,5} - (-0,010618/0,60264) * \text{LN}(\text{Fator})^2 - (1,082709/0,60264)$
<i>Peltophorum dubium</i>	$\log(\text{Idade})^{0,5} = (1/1,23719) * \text{LN}(\text{DAP}) - (0,18815/1,23719) * \text{LN}(\text{Fator})^{0,5} - (1,13057/1,23719)$

Este cenário muda drasticamente quando comparado com sítios de alta produtividade, onde tais espécies alcançam, aos 15 anos, diâmetros de 62,97 cm para *E. contortisiliquum*, 39,31 cm para *G. integrifolia*, 38,96 cm para *C. estrellensis*, 38,89 cm para *A. colubrina* var. *colubrina*, 32,77 cm para *P. dubium* e 31,55 cm para *C. legalis*, reduzindo o período de crescimento para menos da metade para a grande maioria das espécies, quando se comparado com os modelos gerados para toda a população analisada.

Tabela 21 – Estimativas do crescimento em diâmetro para os melhores e mais potenciais indivíduos de quinze espécies nativas para a produção de madeira no estado de São Paulo, segundo estimativas de baixa, média e alta produtividade, nas idades de 15, 20, 30, 40 e 50 anos. FA = fator ambiental; MO = matéria orgânica do solo; Ca = teor de cálcio no solo; Arg = teor de argila no solo; Mg = teor de magnésio no solo; CTC = capacidade de troca de cátions; SB = soma de bases do solo; Ano = idade do reflorestamento; B = sítio com baixa produtividade em função do fator ambiental; M = sítio de produtividade moderada em função do fator ambiental; A = sítio com alta produtividade em função do fator ambiental; SF = estimativa do diâmetro para as espécies que não apresentaram correlação com os fatores ambientais mensurados, não tendo seu diâmetro estimado para diferentes produtividades

Espécie	FA	Ano	DAP (cm)				Ano	DAP (cm)				Ano	DAP (cm)				Ano	DAP (cm)								
			B	M	A	SF		B	M	A	SF		B	M	A	SF		B	M	A	SF					
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>colubrina</i>	*		*	*	*	38,29		*	*	*	46,00		*	*	*	59,16		*	*	*	70,39		*	*	*	80,38
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i>	pH		28,89	33,48	38,89	*		31,83	36,96	44,15	*		36,29	42,26	50,65	...		39,70	46,32	55,63	*		42,49	49,65	59,73	*
<i>Aspidosperma polyneuron</i>	MO		9,40	9,77	10,91	*		11,33	11,72	12,97	*		14,95	15,40	16,82	...		18,39	18,89	20,47	*		21,72	22,27	23,97	*
<i>Astronium graveolens</i>	*		*	*	*	27,61		*	*	*	30,75		*	*	*	35,32		*	*	*	38,66		*	*	*	41,31
<i>Cariniana estrellensis</i>	Ca		23,81	27,37	38,96	*		28,37	32,62	46,42	*		35,83	41,19	58,63	...		41,93	48,20	68,61	*		47,17	54,22	77,18	*
<i>Cariniana legalis</i>	Arg		19,26	25,03	31,55	*		24,63	32,01	40,34	*		34,18	44,41	55,97	...		42,61	55,37	69,78	*		50,27	65,32	82,32	*
<i>Cedrela fissilis</i>	Mg		13,46	18,23	27,51	*		15,67	21,40	32,65	*		19,31	26,67	41,28	...		22,33	31,07	48,56	*		24,95	34,92	54,97	*
<i>Centrolobium tomentosum</i>	CTC	15	18,44	21,65	27,65	*	20	21,52	25,07	31,69	*	30	26,43	30,51	38,08	...	40	30,35	34,85	43,15	*	50	33,66	38,50	47,41	*
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	SB		29,12	50,15	62,97	*		34,98	58,79	73,20	*		44,03	71,99	88,74	...		51,04	82,07	100,58	*		56,80	90,32	110,23	*
<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	Arg		12,04	17,17	21,68	*		13,41	19,27	24,46	*		15,69	22,78	29,10	...		17,58	25,72	33,00	*		19,24	28,30	36,45	*
<i>Galesia integrifolia</i>	Ca		21,24	29,84	39,31	*		25,46	35,16	45,77	*		32,34	43,76	56,16	...		37,96	50,74	64,54	*		42,79	56,70	71,67	*
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	*		*	*	*	18,69		*	*	*	22,44		*	*	*	29,08		*	*	*	34,90		*	*	*	40,15
<i>Hymenaea courbaril</i>	*		*	*	*	19,37		*	*	*	22,57		*	*	*	28,02		*	*	*	32,65		*	*	*	36,77
<i>Myroxylon peruiferum</i>	Areia		12,97	17,91	25,33	...		15,33	21,38	30,54	...		19,30	27,28	39,51	...		22,66	32,33	47,24	*		25,63	36,81	54,16	*
<i>Peltophorum dubium</i>	Mg		24,61	30,14	32,77	...		27,35	33,49	36,41	...		31,47	38,54	41,90	...		34,59	42,36	46,05	*		37,13	45,47	49,43	*

Notas: * Indica espécie que não apresenta um fator ambiental determinante para o desenvolvimento do diâmetro.

Da mesma forma, ao considerar o potencial máximo de crescimento diamétrico, *H. heptaphyllus*, *H. courbaril* e *A. graveolens* apresentaram bons resultados em relação ao cenário real das espécies, obtendo-se, respectivamente, os diâmetros de 22,44 cm, 22,57 cm e 30,75 cm aos 20 anos, em detrimento dos diâmetros de 23,55 cm, 19,76 cm e 24,05 cm, respectivamente, aos 40 anos obtidos na modelagem generalista. Ressalta-se que em ambas as modelagens, estas espécies não responderam aos fatores ambientais mensurados, podendo o seu crescimento ser potencializado através de intervenções silviculturais e manejo adequado para a melhor qualidade do fuste produzido. Como exemplo, Carvalho (2003) indica que a desrama natural do *H. heptaphyllus* e *H. courbaril* são deficientes, exigindo podas frequentes de condução e dos galhos para o aumento da altura comercial. Assim, ao considerar os melhores indivíduos, selecionou-se aqueles com os maiores diâmetros e, conseqüentemente, aqueles que destinaram maior energia à formação de um único fuste, favorecendo o incremento diamétrico.

C. fissilis apresentou, novamente, grande dependência do fator ambiental (magnésio), apresentando diferenças significativas entre os sítios. Essa diferença pode ser observada quando se avalia o fato de a espécie atingir o DAP de 24,95 cm aos 50 anos nos sítios menos favoráveis, enquanto que o DAP de 27,51 cm é alcançado aos 15 anos nos sítios de maior produtividade.

Isso reforça a importância da fertilização e correção do pH solo para o oferecimento de condições mais favoráveis à produtividade da espécie, já que *C. fissilis* foi considerada uma das espécies mais sensíveis aos efeitos da acidez no solo (FURTINI NETO et al., 2000; FURTINI NETO et al., 1999) e, logo, na disponibilidade de nutrientes, como o Mg, que podem ser reincorporados através da calagem.

Ainda analisando-se o cenário apresentado na Tabela 21, verificou-se que, aos 20 anos, 73,3% das espécies estudadas demonstraram DAP maior que 30 cm, sendo que dentre estas, 46,7% (7 espécies) apresentaram DAP maior que 35 cm e das quais 40% (6 espécies) obtiveram DAP maior que 40 cm. Já na idade referente aos 30 anos, 73,3% das espécies indicaram DAP maior que o intervalo entre 30 e 35 cm (11 espécies), das quais 53,3% (8 espécies) apresentaram DAP maior que 40 cm.

Assim, comparando-se este com o cenário apresentado na Tabela 8 (Item 4.1.2), a perspectiva de crescimento diamétrico potencial das espécies apresentaram resultados muito mais motivadores no que se refere à produção de madeira nativa no

contexto da restauração ecológica com aproveitamento econômico, visto que na modelagem do diâmetro potencial, obtêve-se uma participação muito maior – em número de espécies – daquelas com viabilidade de manejo madeireiro, apresentando ciclos de produção muito mais competitivos (73,3% das espécies com DAP maior que 35 cm, aos 30 anos, contra 28,5%, no caso do diâmetro generalista).

Esse fato retoma a discussão sobre a importância do estabelecimento prévio dos objetivos da restauração ecológica que se pretende desenvolver, visto que – apesar de a maior parte dos dados abordados neste trabalho serem obtidos a partir de reflorestamentos desenvolvidos sem o objetivo da produção de madeira – para que se atinja níveis mínimos de produtividade, viabilidade econômica e rentabilidade financeira para a floresta em formação, é imprescindível a adoção de tratamentos silviculturais mínimos e específicos para as espécies que se pretende manejar.

Com a definição destes objetivos, portanto, é importante ainda a definição do modelo metodológico a ser seguido, considerando-se o número de espécies a serem exploradas, a densidade de plantio destas espécies madeireiras, a definição das espécies das linhas de plantio circunvizinhas (condutoras do crescimento), o posicionamento e agrupamento das linhas de plantio das espécies madeireiras (de forma a facilitar a colheita com menor impacto e maior produtividade da operação), além da definição do programa de fertilização e preparo adequado do solo e do planejamento das operações silviculturais. Assim, todas estas precauções são de suma importância para que se obtenha um modelo de restauração ecologicamente funcional, silviculturalmente produtivo e com maior probabilidade de viabilidade econômica.

4.2.2 Estimativas dos ciclos de produção potencial por espécie

As estimativas referentes aos ciclos de produção potencial das espécies (Tabela 22) apontaram o *E. contortisiliquum* como a espécie mais produtiva, independentemente da qualidade do sítio, com ciclos de exploração que variaram de 6,06 a 20 anos. Esta espécie apresentou um crescimento surpreendente em relação ao diâmetro, porém, apesar de sua elevada produtividade, vale lembrar que ela apresenta uma alta tendência à formação de múltiplos fustes, com bifurcações desde a base e tortuosidade frequente, o que denota a exigência de manejo silvicultural intensivo para alcançar boas toras para a serraria. Assim, além da possibilidade de

planejar o sombreamento desta espécie por outras de crescimento mais rápido, Carvalho (2003) comenta que o *E. contortisiliquum* apresenta uma ótima cicatrização após a poda, mesmo em se tratando de galhos grossos, o que reforça a viabilidade desta operação para o aumento da qualidade dos fustes.

Outras espécies com comportamentos semelhantes à anterior foram *A. colubrina* var. *colubrina* (com ciclos de 10,52 a 26,78 anos), *G. integrifolia* (ciclos de 12,14 a 34,52 anos) e *A. colubrina* var. *cebil* (ciclo de 13,07 anos), as quais também apresentaram um ótimo incremento diamétrico, mas são exigentes de manejo silvicultural para uma produção de indivíduos de boa qualidade para a serraria.

Ao contrário dessas, as espécies *C. estrellensis* e *C. legalis* destacaram-se pela alta produtividade em diâmetro associada à formação fustes de alta qualidade, com altura comercial tipicamente elevada, tornando-as as espécies com maior potencial observado dentre as estudadas. Isso porque produzem madeira de qualidade, com alto valor de mercado, não sendo exigentes da aplicação de técnicas de manejo silvicultural intensivas, desde que atendidas as exigências básicas de adequabilidade do sítio para o seu desenvolvimento.

C. fissilis, *E. leiocarpa* e *M. peruiferum* demonstraram estimativas bastante positivas nos melhores sítios (22,52 anos, 45,67 e 24,75 anos, respectivamente) mas apresentaram alta dependência do fator ambiental, com produtividade reduzida nos demais sítios. Já *A. polyneuron* apresentou baixa produtividade em qualquer das situações apresentadas, contrariando às estimativas de Carvalho (2003) que a classifica como crescimento moderado a partir dos doze anos de idade. Kageyama e Castro (1989) mencionam que esta planta exige a presença de outras espécies estimuladoras para potencializar o seu crescimento e formação do fuste.

Tabela 22 – Estimativas dos ciclos de produção otimizada para quinze espécies nativas e potencialmente produtoras de madeira serrada no estado de São Paulo, a partir da seleção dos indivíduos de maior potencial (quartil superior da distribuição) e do estabelecimento de um diâmetro mínimo de corte de 35 cm, sob cenários de baixa, moderada e elevada produtividade. MO = matéria orgânica do solo; Ca = teor de cálcio no solo; Arg = teor de argila no solo; Mg = teor de magnésio no solo; CTC = capacidade de troca de cátions; SB = soma de bases do solo; DMC = diâmetro mínimo de corte; A = sítio com alta produtividade em função do fator ambiental; B = sítio com baixa produtividade em função do fator ambiental; M = sítio de produtividade moderada em função do fator ambiental; A = sítio com alta produtividade em função do fator ambiental; SF = estimativa do diâmetro potencial para as espécies que não apresentaram correlação com os fatores ambientais mensurados

Espécie	Fator ambiental	DMC (cm)	Idade (anos)			
			A	M	B	SF
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>colubrina</i>	*	35	*	*	*	13,07
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i>	pH	35	10,52	17,05	26,78	*
<i>Aspidosperma polyneuron</i>	MO	35	83,15	89,76	92,00	*
<i>Astronium graveolens</i>	*	35	*	*	*	29,17
<i>Cariniana estrellensis</i>	Ca	35	12,67	22,55	28,77	*
<i>Cariniana legalis</i>	Arg	35	16,91	22,28	30,93	*
<i>Cedrela fissilis</i>	Mg	35	22,52	50,23	100,29	*
<i>Centrolobium tomentosum</i>	CTC	35	24,84	40,39	54,48	*
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	SB	35	6,06	8,56	20,02	*
<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	Arg	35	45,67	81,12	203,68	*
<i>Gallesia integrifolia</i>	Ca	35	12,14	19,84	34,52	*
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	*	35	*	*	*	40,18
<i>Hymenaea courbaril</i>	*	35	*	*	*	45,57
<i>Myroxylon peruiferum</i>	Areia	35	24,75	45,84	88,83	*
<i>Peltophorum dubium</i>	Mg	35	17,92	22,65	41,49	*

Notas: * Indica espécie não apresenta um fator ambiental determinante para o desenvolvimento diamétrico.

Diante dessa perspectiva melhorada de crescimento, na mesma forma que para a abordagem generalista da amostra, foi possível agrupar as espécies de acordo com a expectativa de produção comercial (Tabela 23).

Considerando-se a mesma perspectiva de comparação entre o agrupamento das espécies e a classificação de Rodrigues et al. (2009), pode-se verificar que várias das espécies indicadas por estes autores como “madeira final” e, logo, com o uso da madeira associado à geração de produtos de alto valor agregado, apresentaram ciclos de produção potencial bastante animadores, com espécies alcançando ciclos inferiores a 20 anos nos melhores sítios, como no caso de *C.*

estrellensis e *C. legalis*, e outras com ciclos entre 20 e 25 anos, como nos casos de *C. fissilis* e *M. peruiferum*.

Adicionalmente, outras espécies consideradas como “madeira média” apresentaram ciclos de produção surpreendentes, como ocorreu com *E. contortisiliquum*, *G. integrifolia* e *A. colubrina* var. *colubrina* e *A. colubrina* var. *cebil*., as quais, mesmo apresentando um uso menos nobre da madeira, sua alta produtividade compensa o plantio, principalmente considerando-se a possibilidade de uso na construção civil e no aproveitamento para a geração de cavacos para energia térmica. Neste caso, na publicação do Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2009), o autor discute que, em regiões onde o agronegócio se encontra bastante desenvolvido, o uso de madeira nativa (e seus resíduos) convertida em cavacos tem sido amplamente empregado na secagem e esmagamento de grãos, em substituição ao óleo diesel, o que corresponde uma nova oportunidade de mercado para a madeira destas espécies.

Tabela 23 – Agrupamento das espécies de acordo com os ciclos de maturação comercial esperado para a perspectiva melhorada da produção de madeira nativa no estado de São Paulo, segundo sítios de alta, média e baixa produtividade; Clas. Mad. = classificação de Rodrigues et al. (2009) para as espécies potencialmente produtoras de madeira, sendo a expectativa de ciclos de corte das espécies de madeira média igual a 20 anos e das espécies de madeira final entre 30 e 40 anos

Espécies	Clas. Mad.	Produtividade do sítio			
		Alta	Moderada	Baixa	Não classificada
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Média	6 anos	9 anos	Até 20 anos	
<i>Gallesia integrifolia</i>	Média	10 – 13 anos	15 - 20 anos	25 - 35 anos	
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i>	Média				
<i>Cariniana estrellensis</i>	Final	15 - 20 anos	21 - 25 anos	40 - 55 anos	
<i>Cariniana legalis</i>	Final				
<i>Peltophorum dubium</i>	Média	21 - 25 anos	40 - 50 anos	100 anos	
<i>Centrolobium tomentosum</i>	Média				
<i>Cedrela fissilis</i>	Final	83 anos	80 - 90 anos	85 - 95 anos	
<i>Myroxylon peruiferum</i>	Final				
<i>Aspidosperma polyneuron</i>	Final	40 - 45 anos		200 anos	
<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	Final				
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>colubrina</i>	Média				13 anos
<i>Astronium graveolens</i>	Média				30 anos
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Final				40 - 45 anos
<i>Hymenaea courbaril</i>	Final				

Em suma, essa perspectiva identifica um enorme potencial das espécies avaliadas para a produção de madeira nativa no contexto da restauração florestal,

no estado de São Paulo, o que pode representar uma importante mudança de olhares sobre esta oportunidade de mercado e do desenvolvimento da pesquisa aplicada nesta área. Assim, outros estudos precisam ser desenvolvidos para que mais espécies sejam estudadas e possivelmente indicadas para esse fim, buscando-se desenvolver um banco de dados com informações silviculturais e ecológicas das mesmas, com grande aplicação prática para investidores, reflorestadores e restauradores de ecossistemas florestais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Várias das espécies nativas estudadas apresentaram potencial satisfatório de produção de madeira serrada em plantios de restauração florestal para as regiões avaliadas no estado de São Paulo, principalmente em condições ambientais favoráveis e se submetidas a manejo silvicultural adequado. No entanto, mesmo sob condições favoráveis, algumas espécies apresentaram crescimento excessivamente lento, desestimulando seu plantio para a produção de madeira. O ciclo de produção de madeira esperado para cada espécie foi muito variável em função das condições ambientais da área em restauração, reforçando a importância de escolha orientada de espécies para cada condição de sítio, do preparo adequado do solo e da consideração dessas condições ambientais para definir os modelos de restauração para fins de exploração de madeira. Da mesma forma, a maior parte dos indivíduos encontrava-se dominada na estrutura vertical da floresta, reforçando a importância do espaçamento, da composição de espécies na vizinhança e de desbastes no potencial de produção de madeira.

6 IMPLICAÇÕES PRÁTICAS

As implicações práticas desta pesquisa constituem-se da relação das principais características silviculturais das espécies nativas estudadas para o planejamento de modelos de restauração florestal voltados para a exploração de madeira serrada (Tabela 24).

Tabela 24 – Características silviculturais, recomendações de manejo, ciclos de produção potencial e usos da madeira para dezesseis espécies nativas da Floresta Estacional Semidecidual no estado de São Paulo

(continua)

Espécies	Nome popular	Sensibilidade à Dominação	Necessidade de desrama/poda ou plantio sob dossel	Ambiente Favorável	Ciclo de Produção Potencial (anos)	Usos da Madeira
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i>	Angico vermelho	Alta	Alta (Tortuosidade do fuste)	Sensível à acidez do solo	10,52	Construção pesada externa; construção civil interna; assoalhos; móveis de alta qualidade; peças torneadas
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>colubrina</i>	Angico-branco	Média	Alta (Múltiplos fustes; tortuosidade do fuste)	Solos ricos em magnésio	13,07	Construção civil; marcenaria; carpintaria; obras internas; implementos; embalagens; construção naval; ótima para lenha e carvão
<i>Aspidosperma polyneuron</i>	Peroba-rosa	Baixa	Alta (Não tolera níveis elevados de luz)	Solos ricos em magnésio e matéria orgânica	83,15	Móveis rústicos; construção civil pesada externa; construções internas; assoalhos; carrocerias; cabos de ferramentas; carpintaria em geral
<i>Astronium graveolens</i>	Guaritá	Média	Média (Tortuosidade do fuste)	Não estabelecido	29,17	Construções externas; acabamentos internos; movelaria; peças torneadas; assoalhos
<i>Balfourodendron Riedelianum</i>	Pau-marfim	Ausente	Média (Tortuosidade do fuste)	Solos ricos em silte	Não estabelecido	Móveis de luxo; lâminas faqueadas decorativas; peças torneadas; cabos de ferramentas; construção civil interna; artefatos decorativos em geral; cutelaria
<i>Cariniana estrellensis</i>	Jequitibá branco	Ausente	Baixa (Rara bifurcação)	Solos ricos em cálcio e magnésio	12,67	Estrutura de móveis populares; construção civil interna; peças torneadas; cabos de ferramentas; painéis; embalagens; brinquedos
<i>Cariniana legalis</i>	Jequitibá-rosa	Ausente	Ausente	Solos ricos em argila	16,91	Folhas faqueadas; painéis; móveis e armação; carpintaria; marcenaria; construção civil e acabamentos internos; caixotaria, saltos para sapatos; tonéis; cabos de vassoura
<i>Cedrela fissilis</i>	Cedro-rosa	Média	Média (Tortuosidade do fuste)	Solos ricos em magnésio	22,52	Móveis finos; construção civil e acabamentos internos; instrumentos musicais; construção naval (acabamento interno decorativo e casco de embarcações leves); cabos de vassouras
<i>Centrolobium tomentosum</i>	Araribá	Baixa	Baixa (Tortuosidade do fuste)	Solos com pH elevado e alta CTC	24,84	Construções externas; construção naval; obras hidráulicas; construção civil interna; carpintaria, marcenaria de luxo, móveis finos; peças torneadas; cabos de ferramentas; tanoaria
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Tamboril	Baixa	Alta (Múltiplos fustes; tortuosidade do fuste)	Solos com soma de bases elevada	6,06	Construção naval; construção civil; painéis; carpintaria em geral; modelos de fundição; embalagens e caixotaria leve; urnas funerárias; canoas de tronco inteiro e embarcações; raízes servem para jangadas; entalhes em esculturas; gamelas, cochos

Tabela 24 – Características silviculturais, recomendações de manejo, ciclos de produção potencial e usos da madeira para dezesseis espécies nativas da Floresta Estacional Semidecidual no estado de São Paulo

(conclusão)

Espécies	Nome popular	Sensibilidade à Dominação	Necessidade de desrama/poda ou plantio sob dossel	Ambiente Favorável	Ciclo de Produção Potencial (anos)	Uso da Madeira
<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	Guarantã	Baixa	Alta (Múltiplos fustes; tortuosidade do fuste)	Solos ricos em argila e soma de bases elevada	45,67	Construções pesadas externas e no chão; construção civil interna; assoalhos; cabos de ferramentas
<i>Gallesia integrifolia</i>	Pau d'alho	Média	Média (Tortuosidade do fuste)	Solos ricos em matéria orgânica e cálcio	12,14	Construções rústicas; construção civil interna; ótima para caixas de concreto; caixotaria e embalagens leves. Uso restrito devido à desuniformidade do acabamento
<i>Handroanthus Heptaphyllus</i>	Ipê-roxo	Ausente	Alta (Tortuosidade do fuste; rara bifurcação)	Sensível ao alumínio do solo	40,18	Construções pesadas externas; construções e acabamentos internos; assoalhos; móveis de alta qualidade; artigos de esporte; cabos de ferramentas; implementos agrícolas; peças torneadas; instrumentos musicais
<i>Hymenaea courbaril</i>	Jatobá	Baixa	Alta (Tortuosidade do fuste)	Não estabelecido	45,57	Construções pesadas externas; construção civil em geral; laminados; móveis; cabos de ferramentas; implementos agrícolas; carrocerias e vagões
<i>Myroxylon peruiferum</i>	Cabreúva vermelha	Baixa	Alta (Tortuosidade do fuste)	Solos ricos em magnésio, baixo teor de areia e alto teor de silte	24,75	Construções pesadas externas; construção civil em geral; assoalhos; construção naval; carrocerias; cabos de ferramentas; peças torneadas
<i>Peltophorum dubium</i>	Canafístula	Baixa	Média (Tortuosidade do fuste; rara bifurcação)	Solos com bom teor de argila e ricos em magnésio	17,92	Construções pesadas externas; construções e acabamentos internos; assoalhos; móveis e guarnições; construção naval e militar; marcenaria; carpintaria; carrocerias

Notas:

- Sensibilidade à dominação encontra-se relacionada à variabilidade do porte dos indivíduos nos reflorestamentos estudados
- Ciclos de produção potencial foram determinados com base no crescimento dos 25% melhores indivíduos coletados em cada reflorestamento, diante de condições mediana ou alta de produtividade do sítio
- Valores de produção diamétrica não estabelecidas para *Balfourodendron riedelianum*
- Ambiente favorável denota as condições mais adequadas para o desenvolvimento da espécie, no que se refere ao diâmetro e altura total

REFERÊNCIAS

- ARONSON, J.; ALEXANDER, S. Ecosystem Restoration is Now a Global Priority: Time to Roll up our Sleeves. **Restoration Ecology**, Malden, v. 21, n. 3, p. 293-296, 2013.
- BARLOW, J.; GARDNER, T.A.; ARAUJO, I.S.; ÁVILA-PIRES, T.C.; BONALDO, A.B.; COSTA, J.E.; ESPOSITO, M.C.; FERREIRA, L.V.; HAWES, J.; HERNANDEZ, M.I.M.; HOOGMOED, M.S.; LEITE, R.N.; LO-MAN-HUNG, N.F.; MALCOLM, J.R.; MARTINS, M.B.; MESTRE, L.A.M.; MIRANDA-SANTOS, R.; NUNES-GUTJAHR, A.L.; OVERAL, W.L.; PARRY, L.; PETERS, S.L.; RIBEIRO-JUNIOR, M.A.; SILVA, M.N.F. da; SILVA MOTTA, C. da; PERES, C.A. Quantifying the biodiversity value of tropical primary, secondary, and plantation forests. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 104, n. 47, p. 18555-18560, 2007.
- BATTLE-AGUILAR, J.; BRIVELLI, A.; PORPORATO, A.; Barry, D.A. Modelling soil carbon and nitrogen cycles during land use change. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 31, n.2, p. 251-274, 2011.
- BERTACCHI, M.I.F.; BRANCALION, P.H.S.; BRONDANI, G.E.; MEDEIROS, J.C.; RODRIGUES, R.R. Caracterização das condições de microssítio de áreas em restauração com diferentes idades. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 895-905, 2012.
- BIRCH, J.C.; NEWTON, A.C.; AQUINO, C.A.; CANTARELLO, E.; ECHEVERRÍA, C.; KITZBERGER, T.; SCHIAPPACASSE, I.; GARAVITO, N.T. Cost-effectiveness of dryland forest restoration evaluated by spatial analysis of ecosystem services. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 107, n 50, p. 21925-21930, 2010.
- BRADSHAW, C.J.A.; GIAM, X.; SODHI, N.S. Evaluating the relative environmental impact of countries. **PlosOne**, San Francisco, v.5, n. 5, p. 1-16, 2010.
- BRANCALION, P.H.S.; VIANI, R.A.G.; STRASSBURG, B.B.N.; RODRIGUES, R.R. Finding the money for tropical forest restoration, **Unasylva**, Roma, v. 63, n. 239, p. 41-50, 2012/1.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Levantamento sobre a geração de resíduos provenientes da atividade madeireira e proposição de diretrizes para políticas, normas e condutas técnicas para promover o seu uso adequado**. Curitiba, 2009, 35 p.
- BRIENZA JÚNIOR, S.; PEREIRA, J.F.; YARED, J.A.G.; MOURÃO JÚNIOR, M.; GONÇALVES, D. de A.; GALEÃO, R.R. Recuperação de áreas degradadas com base em sistema de produção florestal energético-madeireiro: indicadores de custos, produtividade e renda. **Revista Amazônia: Ciência e Desenvolvimento**, Belém, v. 4, n. 7, p. 197-219, 2008.

CALMON, M.; BRANCALION, P.H.S.; PAESE, A.; ARONSON, J.; CASTRO, P.; SILVA, S.C.; RODRIGUES, R.R. Emerging Threats and Opportunities for Large-Scale Ecological Restoration in the Atlantic Forest of Brazil. **Restoration Ecology**, Malden, v. 19, n. 2, p. 154-158, 2011.

CAMPOE, O.C.; STAPE, J.L.; MENDES, J.C.T. Can intensive management accelerate the restoration of Brazil's Atlantic Forests? **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.259, n. 9, p. 1808-1814, 2010.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 1039p.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 627p.

CEPAGRI – Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. **Clima dos Municípios Paulistas**. 2013. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>>. Acesso em: 20 jan.2013.

CHAZDON, R.L. Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Lands. **Science**, Washington, v. 320, n. 5882, p. 1458-1460, 2008.

CLEWELL, A.F.; ARONSON, J. **Ecological Restoration: Principles, Values, and Structure of an Emerging Profession**. Washington, DC: Island Press, 2007. 217p.

CUNHA, G.C. **Aspectos da ciclagem de nutrientes em diferentes fases sucessionais de uma floresta estacional do Rio Grande do Sul**. 1997. 86p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

DAVIDSON, E.A.; CARVALHO, C.J.R.; VIEIRA, I.C.G.; FIGUEIREDO, R.O.; MOUTINHO, P.; ISHIDA, R.Y.; SANTOS, M.T.P.; GUERRERO, J.B.; KALIF, K.; SABÁ, R.T. Nitrogen and phosphorus limitation of biomass growth in a tropical secondary forest. **Ecological Applications**, Tempe, v. 14, n. 4, p. 150-163, 2004.

EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE. **Banco de Dados Climáticos do Brasil**. 2013. Disponível em: <<http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/resultados/index.php?UF=sp>>. Acesso em: 20 jan. 2013.

ENGEL, V.L.; PARROTTA, J.A. An evaluation of directing seeding for reforestation of degraded lands in central São Paulo state, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 152, n. 1/3, p. 169-181, 2001.

ERSKINE, P.D.; LAMB, D.; BRISTOW, M. Tree species diversity and ecosystem function: Can tropical multi-species plantations generate greater productivity? **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 233, n. 2/3, p.205-210, 2006.

FAO. **Global Forest Resources Assessment 2010**: main report. Roma, 2010. 343 p. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/017/i3110e/i3110e.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2013.

FAO. **States of the World's Forests**. Roma, 2012. 47 p. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/016/i3010e/i3010e.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2013.

FERNANDEZ, F.A.dos S.; ANTUNES, P.C.; MACEDO, L.; ZUCCO, C.A. How sustainable is the use of natural resources in Brazil? **Natureza & Conservação**, Curitiba, v. 10, n.1, p. 77-82, 2012.

FERREIRA, W.C.; BOTELHO, S.A.; DAVIDE, A.C.; FARIA, J.M.R. Avaliação do crescimento do estrato arbóreo de área degradada revegetada à margem do Rio Grande, na Usina Hidrelétrica de Camargos, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 177-185, 2007.

FUJIHARA, M.A.; CAVALCANTI, R.; GUIMARÃES, A.; GARLIPP, R. **O valor das florestas**. São Paulo: Terras das Artes Editora, 2009. 351p.

FURTINI NETO, A.E.; RESENDE, A.V. de; VALE, F.R. do; SILVA, I.R. Limbing effects on growth of native species from brazilian savannah. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n.5, p. 829-837, 1999.

FURTINI NETO, A.E.; SIQUEIRA, J.O.; CURI, N.; MOREIRA, F.M.S. Fertilização em reflorestamento com espécies nativas. In: GONÇALVES, J.L. DE M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e Fertilização Florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. cap. 12, p. 351-383.

GAREN, E.J.; SALTONSTALL, K.; SLUSSES, J.L.; MATHIAS, S.; ASHTON, M.S.; HALL, J.S. An evaluation of farmer's experiences planting native trees in rural Panama: implications for reforestation with native species in agricultural landscapes. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 76, n. 1, p. 219-236, 2009.

GONZAGA, A.L. **Madeira: Uso e Conservação**. Brasília: IPHAN/MONUMENTA, 2006. 246p.

HAIR, J.F.; TATHAM, R.L.; ANDERSON, R.E.; BLACK, W. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2005. 548p.

HOLL, K.D.; HOWARTH, R.B. Paying for Restoration. **Restoration Ecology**, Malden, v. 8, n. 3, p. 260-267, 2000.

HOLL, K.D.; AIDE, T.M. When and where to actively restore ecosystems? **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 261, n. 10, p. 1558-1563, 2011.

INOUE, M.T. A auto-ecologia do gênero *Cedrela*: efeitos na fisiologia do crescimento no estágio juvenil em função da intensidade luminosa. **Floresta**, Curitiba, v.8, n. 1, p. 58-61, 1977.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Consultas Online. **Informações sobre Madeiras**. Disponível em:

<http://www.ipt.br/consultas_online/informacoes_sobre_madeira/busca>. Acesso em: 16 maio 2013.

INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION. **Annual Review and Assessment fo the World Timber Situation**. Yokohama, 2011. 206 p. Disponível em: <http://www.itto.int/annual_review/>. Acesso em: 18 maio 2013.

JANKOWSKY, I.P. (Org.); CHIMELO, J.P.; CAVALCANTE, A.de A.; GALINA, I.C.M.; NAGAMURA, J.C.S. **Madeiras Brasileiras**. Caxias do Sul: Spectrum, v. 1, 172 p., 1990.

KAGEYAMA, P.Y.; BIELLA, L.C.; PALERMO JUNIOR, A. Plantações mistas com espécies nativas com fins de proteção a reservatórios. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990. v.1, p. 109-112.

KAGEYAMA, P.Y.; CASTRO, C.F. Sucessão secundária, estrutura genética e plantações de espécies arbóreas nativas. **IPEF**, Piracicaba, n. 41/42, p. 83-93, 1989.

KANOWSKI, J.; CATTERALL, C. Carbon stocks in above-ground biomass of monoculture plantations, mixed species plantations and environmental restoration plantings in north-east Australia. **Ecological Management & Restoration**, Carlton, v. 11, n. 2, p. 119-126, 2010.

LAMB, D. Large-scale Ecological Restoration of Degraded Tropical Forest Lands: The Potential Role of Timber Plantations. **Restoration Ecology**, Malden, v. 6, n. 3, p. 271-179, 1998.

LAMB, D.; ERSKINE, P.D.; PARROTTA, J.A. Restoration of Degraded Tropical Forest Landscapes. **Science**, Washington, v. 310, n. 5754, p.1628-1632, 2005.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Editora Plantarum, 1992. 382p.

MACEDO, M.N.; DEFRIES, R.S.; MORTON, D.C.; STICKLER, C.M.; GALFORD, G.L.; SHIMABUKURO. Decoupling of deforestation and soy production in the southern Amazon during the late 2000s. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 109, n. 4, p. 1341-1346, 2012.

MACEDO, M.O.; RESENDE, A.S.; GARCIA, P.C.; BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; URQUIAGA, S.; CAMPELLO, E.F.C.; FRANCO, A.A. Changes in soil C and N stocks and nutrient dynamics 13 years after recovery of degraded land using leguminous nitrogen-fixing trees. **Forest Ecology and Manegement**, Amsterdam, v. 255, p. 1515-1524, 2008.

MANIERI, C. **Madeiras brasileiras**: Característicos gerais, zonas de maior ocorrência, dados botânicos e usos. São Paulo: Instituto Florestal, 1970. 109p.

MAINIERI, C; CHIMELO, J.P. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Madeiras, 1989. 420p.

MENZ, M.H.M.; DIXON, K.W.; HOBBS, R.J. Hurdles and Opportunities for Landscape-Scale Restoration. **Science**, Washington, v. 339, n. 6119, p. 526-527, 2013.

MERRIT, D.J. ; DIXON, K.W. Restoration Seed-Banks – A Matter of Scale. **Science**, Washington, v. 332, n. 6028, p. 424-425, 2011.

NAGENDRA, H. Drivers of reforestation in human-dominated forests. **Science**, Washington, v. 104, n. 39, p. 15218-15223, 2007.

NEPSTAD, D.; SOARES-FILHO, B.; MERRY, F.; LIMA, A.; MOUTINHO, P.; CARTER, J.; BOWMAN, M.; CATTANEO, A.; RODRIGUES, H.; SCHWARTZMAN, S.; McGRATH, D.G.; STICKLER; LUBOWSKI, R.; PIRIS-CABEZAS, P.; RIVERO, S.; ALENCAR, A.; ALMEIDA, O.; STELLA, O. The End of the Deforestation in the Brazilian Amazon. **Science**, Washington, v. 326, n. 5958, p. 1350-1351, 2009.

NOGUEIRA, J.C.B. **Reflorestamento misto com essências nativas: a mata ciliar**. São Paulo: Instituto Florestal, 2010. 148p.

PAQUETTE, A.; MESSIER, C. The role of of plantations in managing the world's forests in the Anthropocene. **Frontiers in Ecology and the Environment**, Washington, v. 8, n. 1, p. 27-34, 2010.

PIOTTO, D.; MONTAGNINI, F.; UGALDE, L.; KANNINEN, M. Performance of forest plantations in small and medium-sized farms in the Atlantic lowlands of Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 175, n. 1-3, p. 195-204, 2003.

PIOTTO, D.; CRAVEN, D.; MONTAGNINI, F.; ALICE, F. Silvicultural and economic aspects of pure and mixed native trees species plantations on degraded pasturelands in humid Costa Rica. **New Forests**, Dordrecht, v. 39, n. 3, p. 369-385, 2010.

PLATH, M.; MODY, K.; POTVIN, C.; DORN, S. Establishment of native tropical timber trees in monoculture and mixed-species plantations: Small-scale effects on tree performance and insect herbivore. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 261, n. 3, p. 741-750, 2011.

PREISKORN, G.M.; PIMENTA, D.; AMAZONAS, N.T.; NAVE, A.G.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R.R.; BELLOTO, A.; CUNHA, M.C.de S. Metodologia de restauração para fins de aproveitamento econômico (Reserva Legal e Áreas Agrícolas). In: RODRIGUES, R.R.; BRANCALION, P.H.S.; ISERNHAGEN, I. (Org.). **Pacto pela restauração da mata atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. São Paulo: LERF/ESALQ: Instituto BioAtlântica, 2009, cap. 5, p. 158-175.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2012. ISBN 3-900051-07-0. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Boletim Técnico Nº 100: Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1996. 285p.

REY BENAYAS, J.M.; NEWTON, A.C.; DIAZ, A.; BULLOCK, J.M. Enhancement of Biodiversity and Ecosystem Services by Ecological Restoration: A Meta-Analysis. **Science**, Washington, v. 325, n. 5944, p. 1121-1124, 2009.

RODRIGUES, R.R. GANDOLFI, S.; NAVE, A.G.; ARONSON, J.; BARRETO, T.E.; VIDAL, C.Y.; BRANCALION, P.H.S. Large-scale ecological restoration of high-diversity tropical forests in SE Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 261, n. 10, p. 1605-1613, 2011.

RODRIGUES, R.R.; LIMA, R.A.F.; GANDOLFI, S.; NAVE, A.G. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological conservation**, Essex, v. 142, p. 1242-1251, 2009.

SCHEDLBAUER, J.L.; KAVANAGH, K.L. Soil carbon dynamics in a chronosequence of secondary forests in northeastern Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 225, n. 3/4, p. 1326-1335, 2008.

SEBBEN, A.M. SIQUEIRA, A.C.M. de F.; KAGEYAMA, P.Y.; MACHADO, J.A.R. Parâmetros genéticos na conservação da cabreúva – *Myroxylon peruiferum* L.F. Alemão. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 53, p.31-38, jun. 1998.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Florestas do Brasil em Resumo**. Brasília: SFB, 2010. 152p.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES PARA O GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO (SigRH). **Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo**. 2013. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhm.exe/plu?qwe=qwe>>. Acesso em: 20 jan. 2013.

STANTON, T.; ECHAVARRIA, M.; HAMILTON, K.; OTT, C. **State of Watershed Payments: An Emerging Marketplace**. Washington, DC: Ecosystem Marketplace, 2010. Disponível em: <http://www.forest-trends.org/documents/files/doc_2438.pdf>. Acesso em: 14 maio 2013.

TOLLEFSON, J. Brazil goes to war against logging. **Nature**, London, v. 452, n. 7184, p. 134-135, 2008.

VIEIRA, D.L.M.; HOLL, K.D.; PENEIREIRO, F.M. Agro-Successional Restoration as a Strategy to Facilitate Tropical Forest Recovery. **Restoration Ecology**, Malden, v. 17, n. 4, p. 451-459, 2009.

VITOUSEK, P.M. Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forests. **Ecology**, Tempe, v. 65, n. 1, p. 285-298, 1984.

WUNDER, S. The Efficiency of Payment for Environmental Services in Tropical Conservation. **Conservation Biology**, Boston, v. 21, n. 1, p. 48-58, 2006.

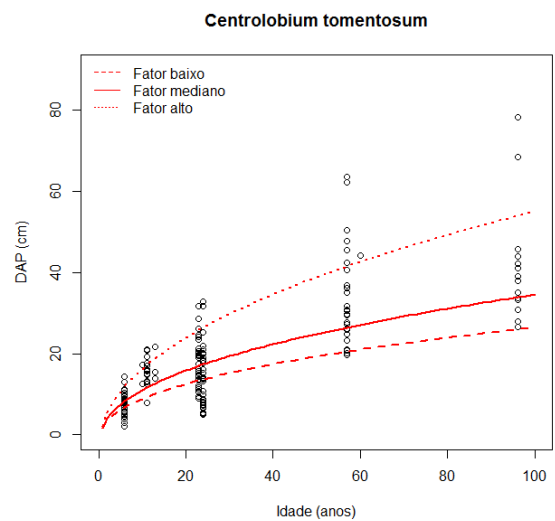
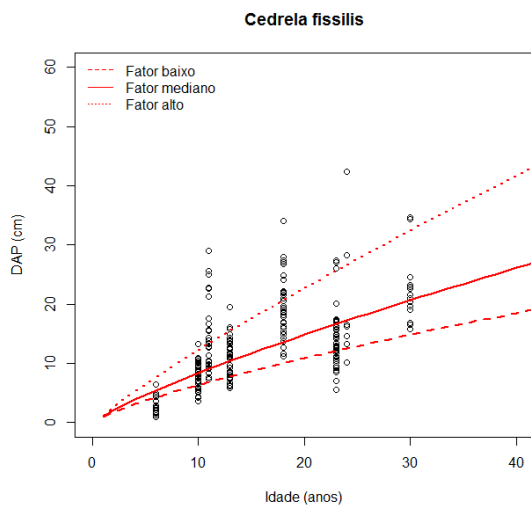
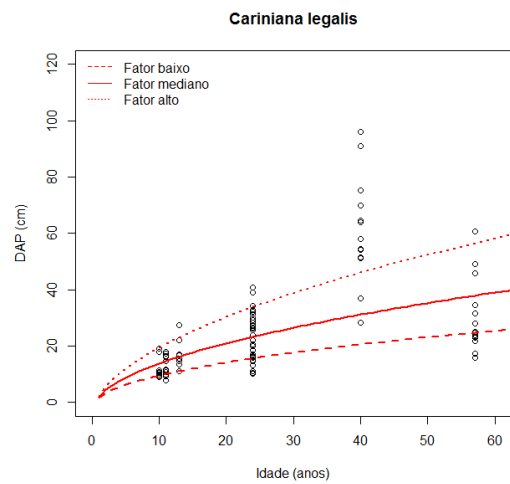
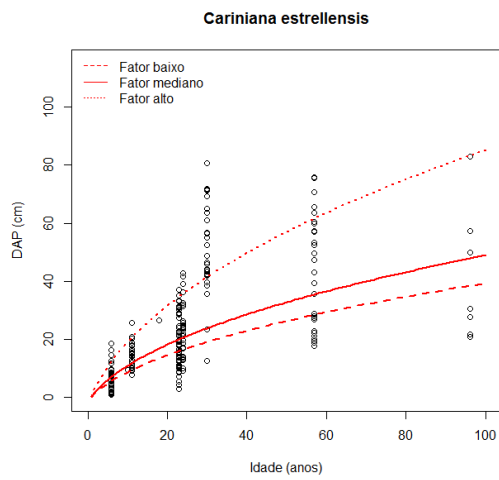
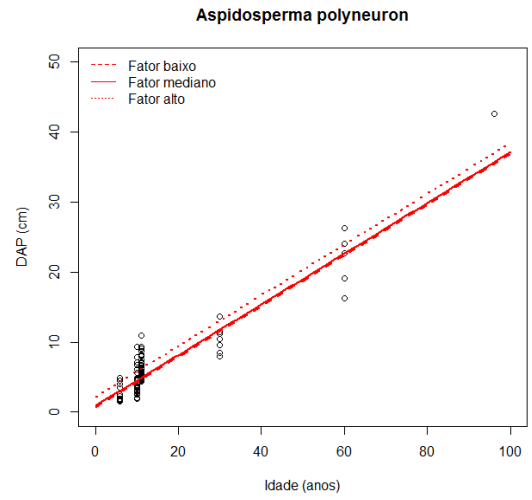
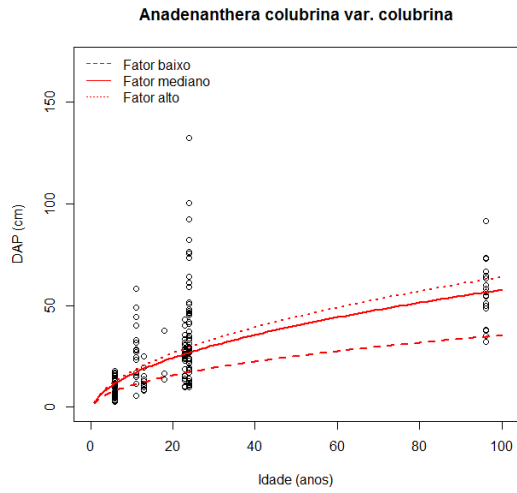
ANEXOS

ANEXO A – Correlação entre os fatores ambientais analisados (precipitação média, temperaturas máxima, média e mínima, clima, deficiência hídrica, excesso hídrico, armazenamento de água no solo, matéria orgânica, pH, H+Al, Al, P, Ca, Mg, K, soma de bases, CTC, v%, m%, areia, silte e argila) e dados referentes à idade do reflorestamento, diâmetro à altura do peito e altura total, para todas as espécies estudadas no estado de São Paulo

Variáveis	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
1 Idade	1,00																										
2 DAP	0,66	1,00																									
3 Alt. Total	0,73	0,84	1,00																								
4 Precip. Média	-0,21	-0,02	0,02	1,00																							
5 Temp. Mín.	0,03	-0,02	-0,08	-0,67	1,00																						
6 Temp. Máx.	0,18	0,07	0,02	-0,57	0,91	1,00																					
7 Temp. Med.	0,09	0,04	0,00	-0,52	0,91	0,96	1,00																				
8 Clima	0,18	0,12	0,20	0,31	-0,85	-0,85	-0,85	1,00																			
9 Def. Hídrica	-0,01	0,07	0,10	0,62	-0,44	-0,27	-0,29	0,27	1,00																		
10 Exc. Hídrico	-0,07	-0,06	-0,03	0,31	-0,79	-0,87	-0,89	0,84	0,04	1,00																	
11 Arm. Ag. Solo	-0,13	-0,16	-0,20	-0,43	0,24	0,07	0,07	-0,19	-0,94	0,16	1,00																
12 MO	0,74	0,53	0,62	0,05	-0,26	-0,26	-0,22	0,46	-0,20	0,29	0,11	1,00															
13 pH (CaCl ₂)	0,15	0,22	0,25	0,52	-0,30	-0,39	-0,26	0,16	0,23	0,13	-0,17	0,39	1,00														
14 H+Al (mmolc/dm ³)	0,07	-0,02	0,00	-0,21	-0,02	0,12	0,06	0,13	-0,30	0,16	0,27	0,17	-0,72	1,00													
15 Al (mmolc/dm ³)	-0,20	-0,24	-0,25	-0,25	0,04	0,14	-0,02	0,02	-0,11	0,05	0,13	-0,31	-0,91	0,76	1,00												
16 P (mg/dm ³)	0,73	0,44	0,54	-0,35	0,02	0,01	0,03	0,37	-0,35	0,06	0,14	0,80	0,05	0,23	-0,07	1,00											
17 Ca (mmolc/dm ³)	0,32	0,32	0,38	0,48	-0,35	-0,42	-0,30	0,32	0,19	0,18	-0,19	0,63	0,92	-0,51	-0,77	0,34	1,00										
18 Mg (mmolc/dm ³)	0,60	0,48	0,49	0,22	-0,05	-0,04	-0,09	0,04	0,12	0,11	-0,08	0,58	0,56	-0,19	-0,47	0,17	0,58	1,00									
19 K (mmolc/dm ³)	0,15	0,14	0,18	0,61	-0,42	-0,19	-0,28	0,24	0,68	0,18	-0,57	0,04	-0,11	0,27	0,25	-0,24	-0,08	0,24	1,00								
20 SB (mmolc/dm ³)	0,31	0,32	0,38	0,48	-0,35	-0,41	-0,30	0,32	0,18	0,18	-0,18	0,62	0,92	-0,50	-0,75	0,35	1,00	0,59	-0,08	1,00							
21 CTC (mmolc/dm ³)	0,25	0,27	0,33	0,46	-0,38	-0,43	-0,30	0,36	0,07	0,23	-0,07	0,67	0,83	-0,30	-0,65	0,39	0,96	0,51	-0,12	0,96	1,00						
22 v% (mmolc/dm ³)	0,24	0,28	0,32	0,45	-0,24	-0,33	-0,19	0,17	0,20	0,07	-0,19	0,49	0,98	-0,65	-0,89	0,19	0,96	0,58	-0,15	0,96	0,89	1,00					
23 m% (mmolc/dm ³)	-0,14	-0,22	-0,23	-0,43	0,22	0,31	0,17	-0,07	-0,18	-0,10	0,12	-0,33	-0,97	0,74	0,96	0,02	-0,83	-0,55	0,14	-0,82	-0,72	-0,93	1,00				
24 Argila (g/Kg)	0,45	0,34	0,35	-0,15	0,07	-0,10	-0,04	0,05	-0,50	0,18	0,49	0,66	0,60	-0,29	-0,64	0,47	0,61	0,60	-0,45	0,60	0,58	0,61	-0,64	1,00			
25 Silte (g/Kg)	0,85	0,60	0,67	0,07	-0,23	-0,15	-0,17	0,39	-0,11	0,26	0,05	0,94	0,30	0,24	-0,24	0,72	0,51	0,71	0,21	0,51	0,54	0,39	-0,26	0,59	1,00		
26 Areia (g/Kg)	-0,66	-0,49	-0,52	0,08	-0,03	0,05	0,00	-0,14	0,36	-0,17	-0,30	-0,84	-0,53	0,07	0,55	-0,62	-0,64	-0,73	0,20	-0,64	-0,64	-0,59	0,55	-0,92	-0,82	1,00	

ANEXO B – Modelos gráficos referentes à modelagem da produção diamétrica de dez espécies nativas, no estado de São Paulo, segundo os fatores ambientais encontrados (baixo, mediano e alto)

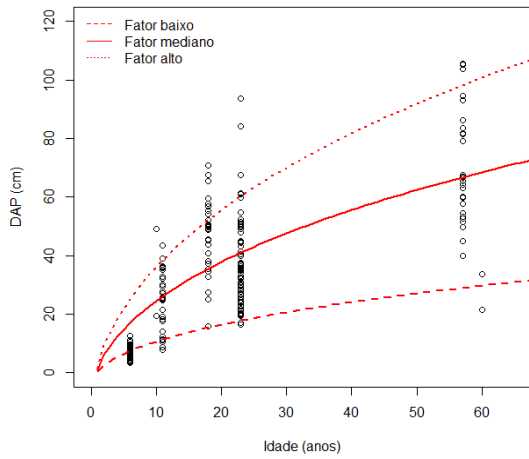
(continua)



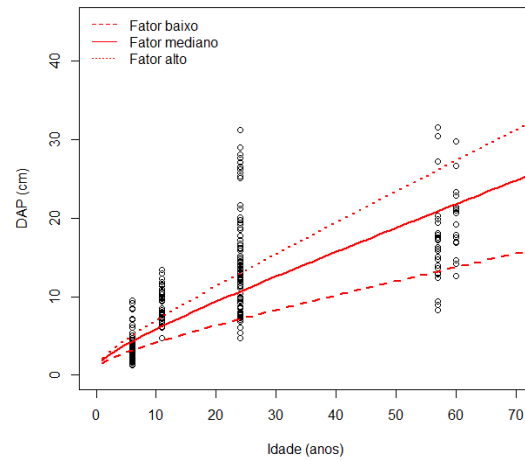
ANEXO B – Modelos gráficos referentes à modelagem da produção diamétrica de dez espécies nativas, no estado de São Paulo, segundo os fatores ambientais encontrados (baixo, mediano e alto)

(conclusão)

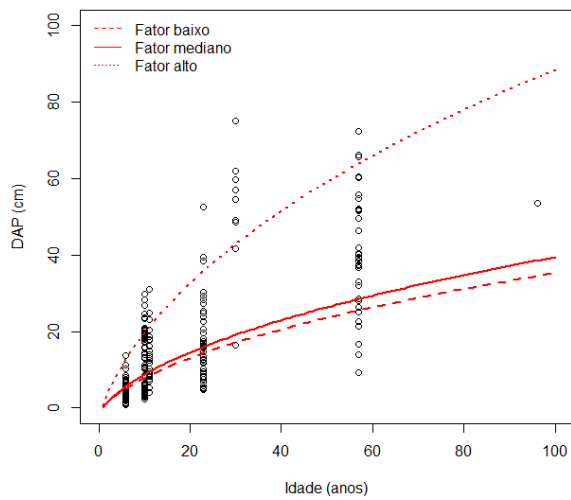
Enterolobium contortisiliquum



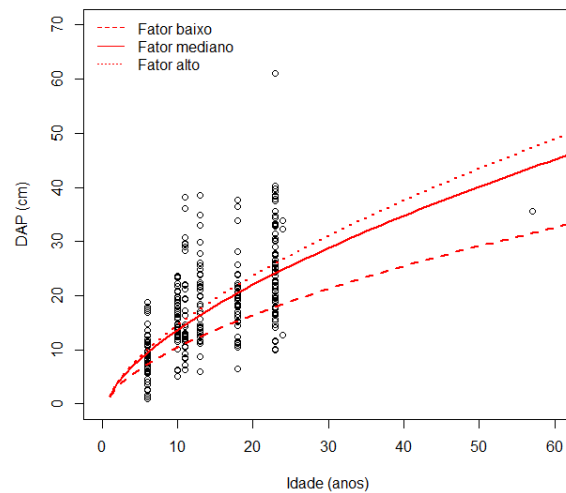
Esenbeckia leiocarpa



Galesia integrifolia

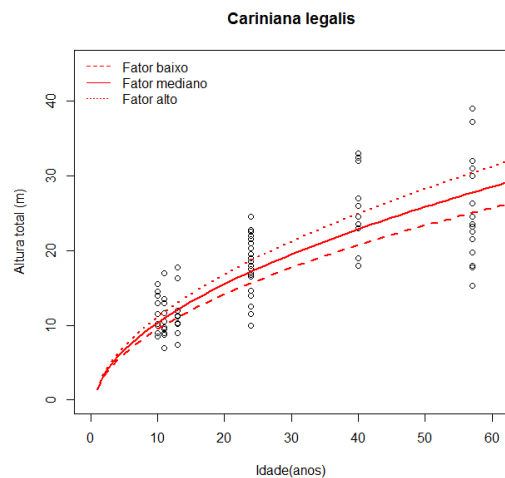
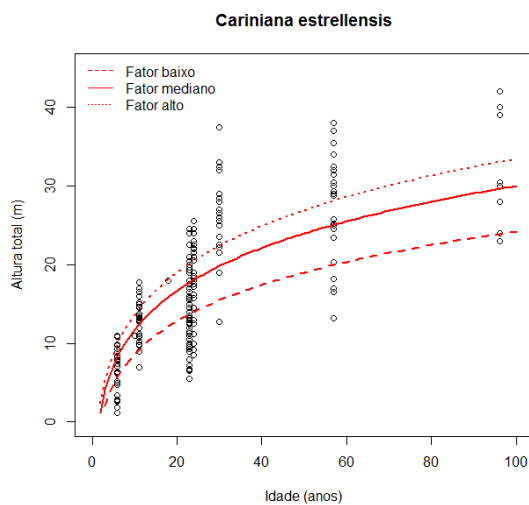
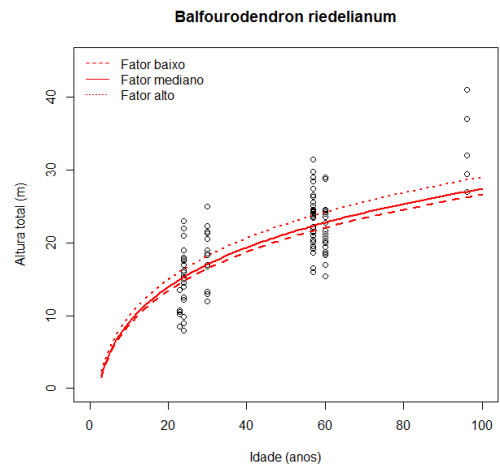
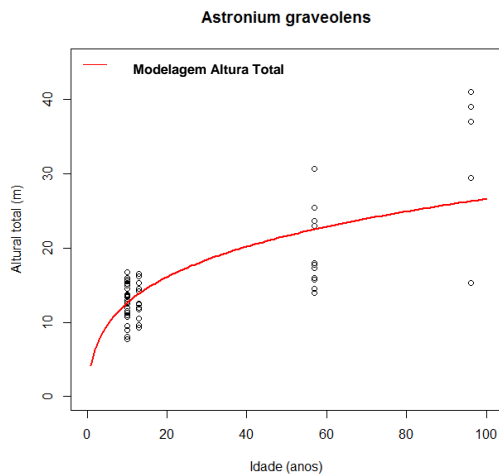
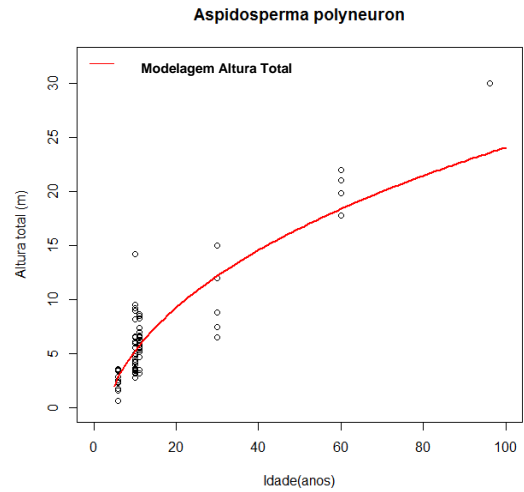
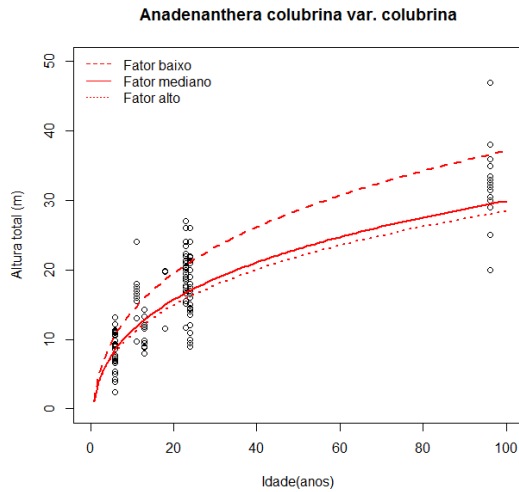


Peltophorum dubium



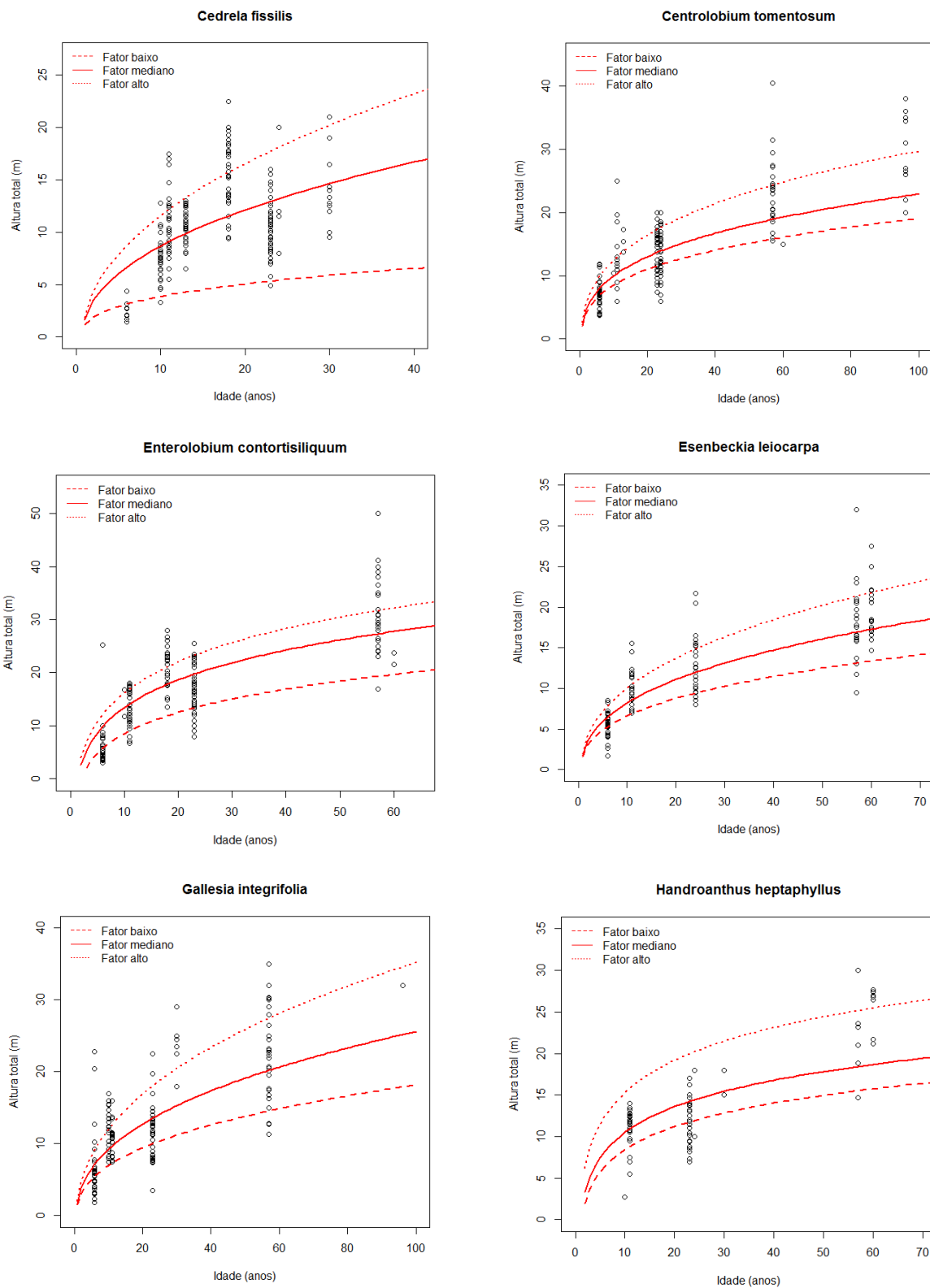
ANEXO C – Modelos gráficos referentes à modelagem da altura total de quinze espécies nativas, no estado de São Paulo, segundo os fatores ambientais encontrados (baixo, mediano e alto) e modelagem da altura total para as espécies que não apresentaram fator ambiental influente

(continua)



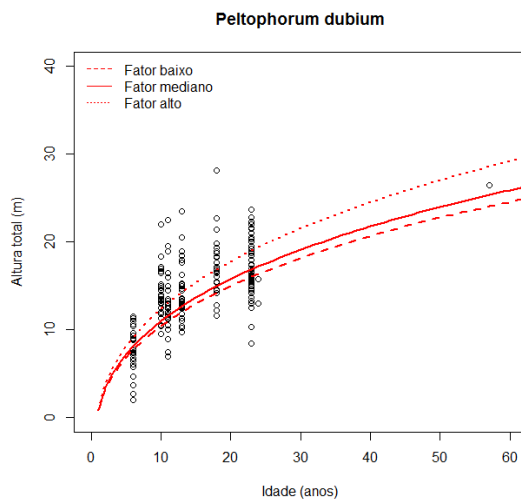
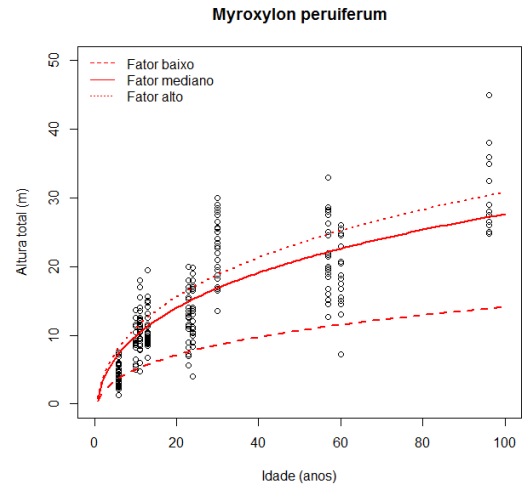
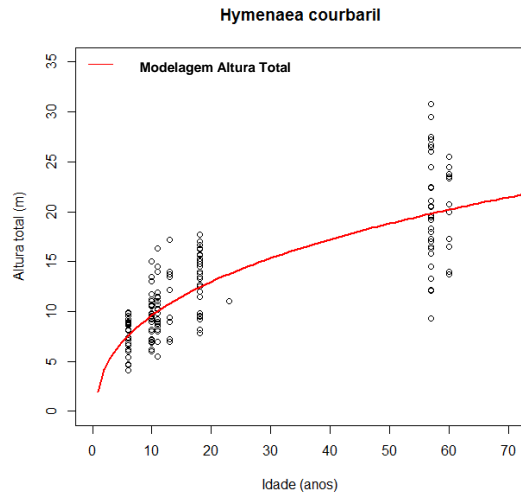
ANEXO C – Modelos gráficos referentes à modelagem da altura total de quinze espécies nativas, no estado de São Paulo, segundo os fatores ambientais encontrados (baixo, mediano e alto) e modelagem da altura total para as espécies que não apresentaram fator ambiental influente

(continua)



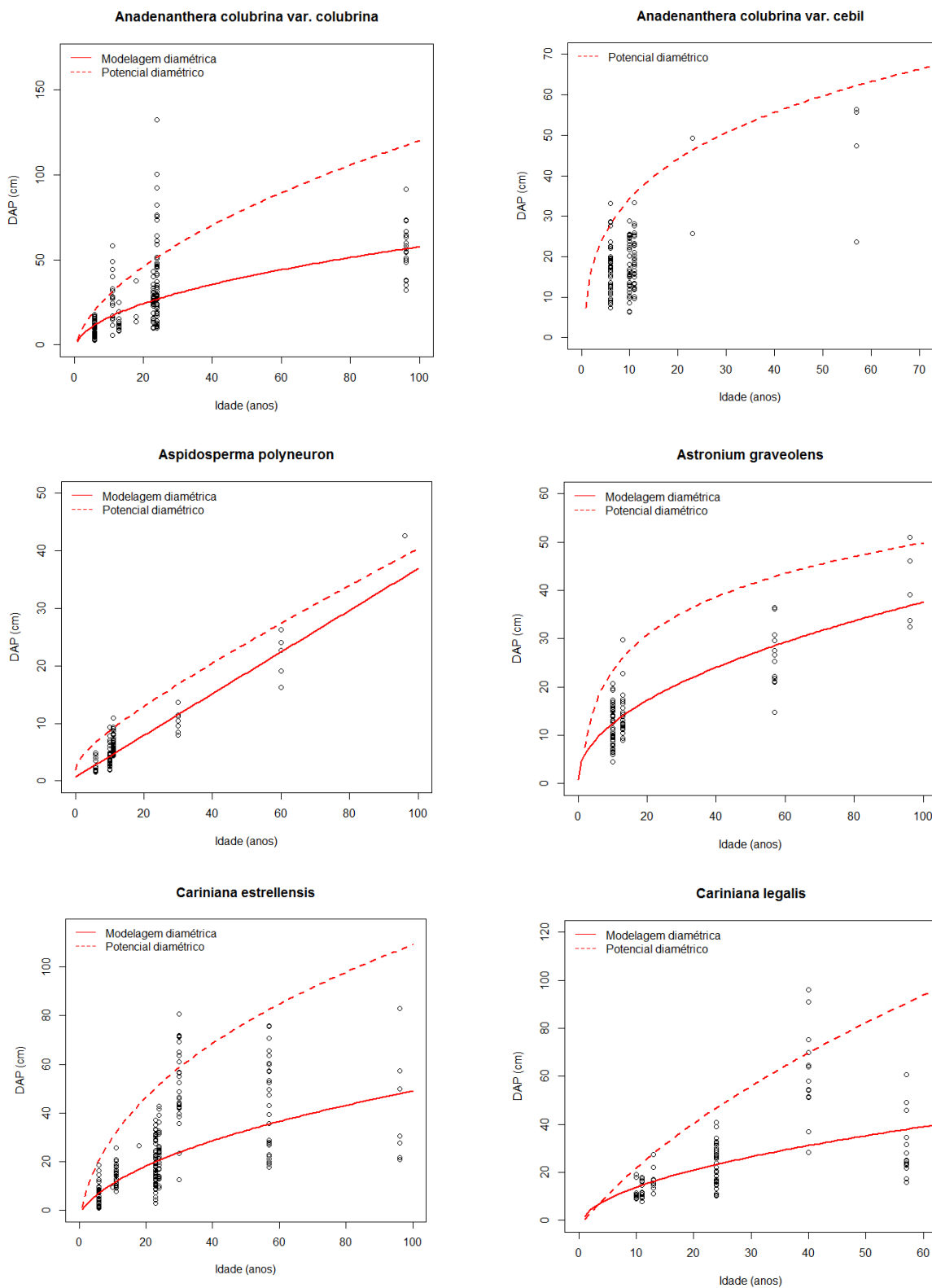
ANEXO C – Modelos gráficos referentes à modelagem da altura total de quinze espécies nativas, no estado de São Paulo, segundo os fatores ambientais encontrados (baixo, mediano e alto) e modelagem da altura total para as espécies que não apresentaram fator ambiental influente

(conclusão)



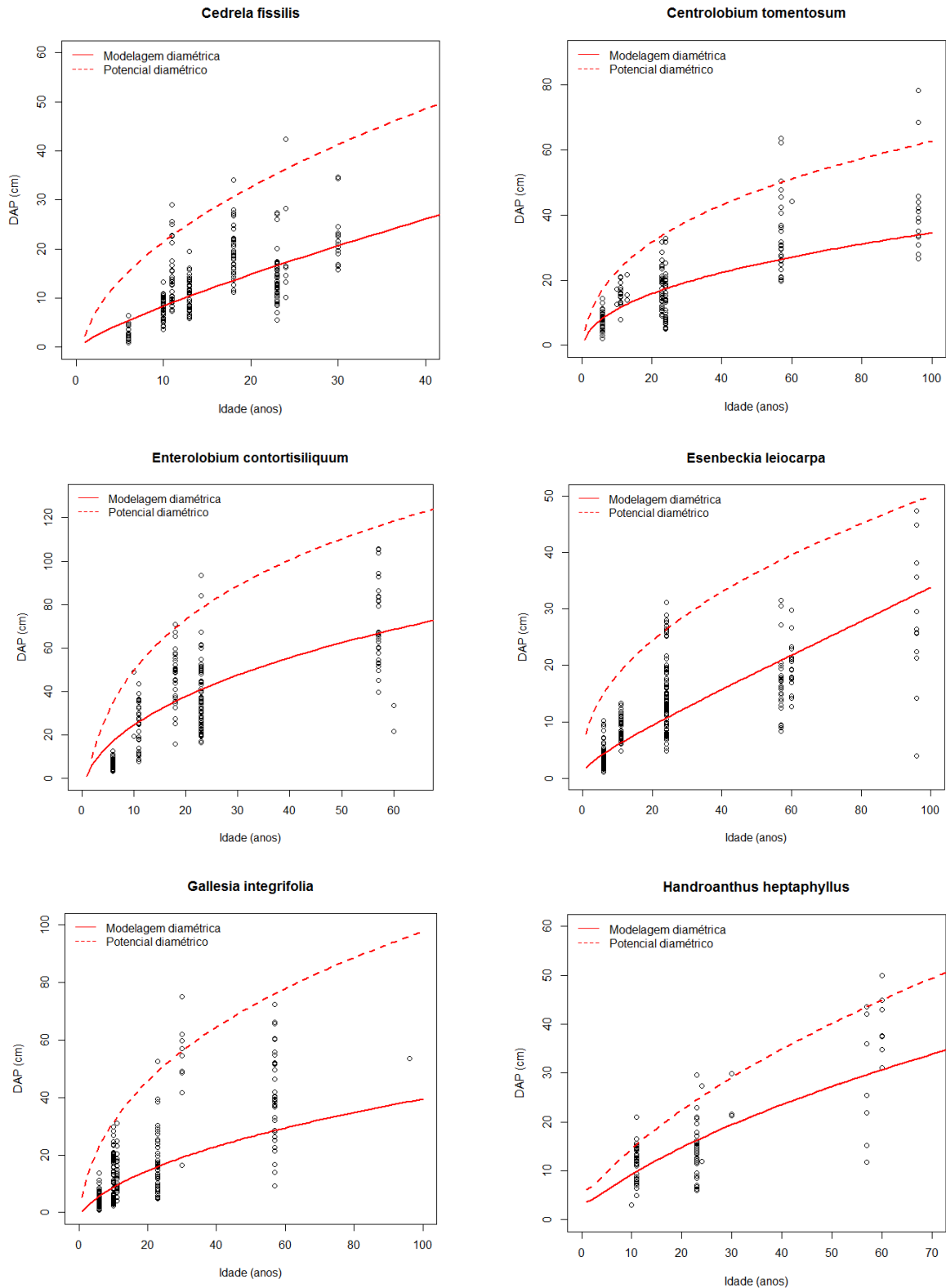
ANEXO D – Modelos gráficos referentes à modelagem da produção diamétrica potencial (sítio de alta produtividade) de quatorze espécies nativas, no estado de São Paulo, em relação ao sítio de produtividade mediana da modelagem diamétrica

(continua)



ANEXO D – Modelos gráficos referentes à modelagem da produção diamétrica potencial (sítio de alta produtividade) de quatorze espécies nativas, no estado de São Paulo, em relação ao sítio de produtividade mediana da modelagem diamétrica

(continua)



ANEXO D – Modelos gráficos referentes à modelagem da produção diamétrica potencial (sítio de alta produtividade) de quatorze espécies nativas, no estado de São Paulo, em relação ao sítio de produtividade mediana da modelagem diamétrica

(conclusão)

