

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

**Classificação de espécies arbóreas em função da tolerância ao alagamento e
preparo de solo para restauração de florestas paludosas**

Mariana Luzia Bettinardi

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

**Piracicaba
2014**

Mariana Luzia Bettinardi
Bacharel em Gestão Ambiental

**Classificação de espécies arbóreas em função da tolerância ao alagamento e
preparo de solo para restauração de florestas paludosas**
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
2014

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

Bettinardi, Mariana Luzia

Classificação de espécies arbóreas em função da tolerância ao alagamento e preparo de solo para restauração de florestas paludosas / Mariana Luzia Bettinardi. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2014.

74 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2014.
Bibliografia.

1. Áreas hidrologicamente sensíveis
2. Lençol freático
3. Saturação hídrica
4. Estruturas morfológicas I. Título

CDD 333.7153
B565c

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

À todos os amantes da natureza e àqueles que têm curiosidade pela vida, que este trabalho possa ser inspirador em nossas práticas enquanto cientistas e cidadãos.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Obrigada meu Deus, por sempre iluminar o meu caminho, sempre proporcionar tantas coisas boas na minha vida, por permitir que pessoas maravilhosas trilhassem o meu caminho e me ajudar a tornar reais todos os meus sonhos.

Agradeço à CAPES pela bolsa de estudos e pelo CNPQ pelos recursos na implantação e manutenção deste projeto que estive envolvido no projeto temático 561897/2010-7.

Ao meu orientador, Pedro H. S. Brancalion, por sempre acreditar no meu potencial, por ter tanto amor ao que faz e por transbordar todo seu entusiasmo, sua motivação, sua sede em aprender e ensinar contagiando a todo instante e me impulsionando à novos desafios! É realmente um grande orgulho e gratidão que tenho por ter aprendido tanto ao seu lado!

Ao sr. Osmair que viabilizou a coleta de dados em campo no sítio Vista Alegre (Artemis-SP), pelos inúmeros momentos de conversa, pela recepção acolhedora de toda a sua família e pelo grande carinho que sente com a conservação da natureza, meu muito obrigado!

À minha família, que sempre me ajudou em todos os momentos com muito amor, carinho e atenção. À minha mãe pela sua preocupação incansável em querer minha felicidade e pelo seu imenso amor. Ao meu irmão por tanta amizade, amor e alegria em tantos momentos de nossas vidas. Ao meu pai, que sempre me incentivou nos estudos e principalmente na minha decisão de fazer mestrado. Que me ajudou a enfrentar sol, ficar em laboratório, conseguir estacas de madeira, e tantas outras atividades além de se interessar a todo instante no andamento do meu projeto. Você é realmente um orgulho para mim, sempre aprendo cada dia mais com seus ensinamentos de vida, com seus conselhos que são positivos, com a sua sabedoria e humildade!

Ao Diego pelo seu amor, companheirismo, alegria de viver, entusiasmo, ajuda em campo e todo o seu carinho, muito obrigada por tornar os meus dias mais felizes!

Às minhas amigas queridas de tantos anos Franciele Rodrigues, Juliana Valéria, Simoni Zardo.

À minha família piracicabana, Gabriela Destro, Mariana Falda Abdal, Vânia Almeida, Andréa Ferrari, Marcele Almeida, que além de me darem força, apoio, coragem, motivação, sempre tornavam a minha vida mais alegre!

À todos que me ajudaram nos inúmeros dias de campo debaixo de sol, muito calor e carrapatos: Érica Santos, Rodrigo Minici (Cabrito), Jean Correia, Manoela de Aguiar,

Vanessa Jó, Ricardo Gomes (Xau-lim), Crislaine Almeida, Andréa Wenzel, Alexandre F.do Nascimento, Lara Gabrielle (Jãgada). A toda equipe do GEPEM - Grupo de Estudos e Pesquisas em Ecologia e Manejo de Florestas Tropicais, especialmente à Marcele Almeida (Plácida) e Felipe Arantes (Gradeia) que com muito esforço e garra me ajudaram no plantio no sítio Vista Alegre. Ao GADE - Grupo de Adequação Ambiental da ESALQ pela ajuda na implantação, manutenções e apoio no experimento da Arena, agora vai!!!. À Luana Santos Amorim (Skuna) por tantos dias de monitoramento e ajuda em soluções para o caso das nossas capivaras, à Maísa Ziviani, Érica Maggiorini que também participaram deste momento.

Aos funcionários Sabino, Natanael, Amarildo do Viveiro de mudas do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ pelo grande auxílio em tudo, sugestões, conversas e momentos de descontração e ao Eliezer pelo auxílio prestado. 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. Aos funcionários da Mecânica e Máquinas Agrícolas do Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ: Luiz Afonso e José Geraldo.

À equipe do Programa de Pós-graduação em Recursos Florestais, especialmente à Giovana, por todos os esclarecimentos e por sua atenção e simpatia.

Ao Marcelo Corrêa Alves por todo apoio na análise dos dados, por todo o seu tempo dedicado, sua paciência em me ajudar a interpretar os resultados e sanar minhas dúvidas, pela sua disponibilidade e atenção.

Aos professores Kátia Ferraz e Silvio Ferraz, pelos auxílios, ideias e contribuições na concretização deste projeto.

À Cris e Mari, por todo o apoio nas questões burocrático-financeiras do projeto CNPQ.

À equipe do LASTROP que apoiaram esta pesquisa e dividiram momentos de descontração.

Muito obrigada!

*"Na barranceira do rio,
O ingá se debruçou.
E a fruta que era madura,
A correnteza levou..."*

Djavan

SUMÁRIO

ABSTRACT.....	13
1 INTRODUÇÃO.....	15
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
2.1 Experimento em viveiro.....	21
2.1.1 Espécies utilizadas.....	21
2.1.2 Tratamentos testados.....	22
2.1.3 Parâmetros avaliados e indicadores gerados.....	24
2.2 Experimento em campo.....	26
2.2.1 Métodos de preparo de solo.....	26
2.3 Questões levantadas e análise de dados.....	28
3 RESULTADOS.....	33
3.1 Avaliação da tolerância ao alagamento.....	33
3.2 Respostas morfológicas e associação à tolerância ao alagamento.....	34
3.3 Espécies potenciais para projetos de restauração.....	38
3.4 Avaliação dos métodos de preparo de solo.....	41
4 CONCLUSÃO.....	51
REFERÊNCIAS.....	53
ANEXOS.....	59

RESUMO

Classificação de espécies arbóreas em função da tolerância ao alagamento e preparo de solo para restauração de florestas paludosas

A água é um bem necessário a toda a humanidade, à agricultura e às indústrias. É o bem mais escasso atualmente e será muito mais nos próximos anos. A proteção dos recursos hídricos para garantia do bem-estar da humanidade torna-se essencial e com isto a restauração florestal de nascentes e áreas ciliares é alvo de projetos em todo o mundo. As áreas hidrologicamente sensíveis (AHS) dentro da bacia hidrográfica são as porções mais importantes neste contexto, no entanto, devido à saturação hídrica do solo ocasionada pela dinâmica do lençol freático, a sua recuperação é dificultada desestimulando pesquisas e ações de restauração. Diante desta lacuna, este estudo teve o objetivo de buscar estratégias para a restauração florestal de AHS. Para isso foi testado em viveiro a tolerância a diferentes níveis de saturação hídrica de 15 espécies típicas de ambientes alagados e uma espécie não típica como controle. As espécies foram avaliadas quanto ao crescimento em altura, diâmetro à altura do solo, sobrevivência, desenvolvimento de respostas morfológicas e possível associação destas com as taxas de crescimento. Foi feita uma análise de agrupamento que classificou e agrupou as espécies de acordo com cinco níveis de tolerância ao alagamento, identificando que para a maioria das espécies quanto maior o nível de saturação hídrica menor é a tolerância a este estresse. A análise de variância e o teste de Tukey identificaram quais espécies apresentaram características morfológicas (hipertrofia de lenticelas e raízes adventícias) e os indicadores morfológicos foram comparados nos grupos constituídos da análise de agrupamento que revelou que estas respostas estão associadas à adaptação quanto ao crescimento e sobrevivência das espécies. Dois experimentos em campo também foram realizados visando testar métodos de preparo de solo que mais favorecessem o estabelecimento e o crescimento inicial das espécies. Foi feita uma análise de variância e teste de Tukey para testar se o método de preparo de solo tem efeito sobre o crescimento em altura e diâmetro e o tempo de sobrevivência para as espécies e uma análise de agrupamento para definir grupos de espécies com características funcionais que favoreçam os projetos de restauração. Verificou-se que os métodos de preparo de solo não foram determinantes para o estabelecimento e desenvolvimento das espécies típicas de AHS em pequenas escalas e que a escolha das espécies mais tolerantes à saturação hídrica em diferentes níveis é o fator mais importante na restauração desses ambientes. Desta forma, em projetos de restauração de florestas brejosas, a seleção de espécies adaptadas a estas condições é mais importante do que os métodos de preparo do solo, e futuros estudos deveriam focar em identificar grupos funcionais de espécies que possam ser usadas nestes projetos.

Palavras-chave: Áreas hidrologicamente sensíveis; Lençol freático; Saturação hídrica; Estruturas morfológicas

ABSTRACT

Tree species classification based on flooding tolerance and soil preparation for the restoration of wetlands

From agriculture to the industry, water is an essential resource for humanity. It is also the scarcest resource at the present time and it will be scarcer in the next years. The protection of water resources is of most importance to ensure humanity's well-being. Thus, projects aiming at the restoration of springs and riparian forests are being carried out around the world. In this context, hydrologically sensitive areas (HSA) of the river basins are the most important sites for water resources provision. However, water table dynamics causes water saturation of the soil in these areas, imposing barriers to recuperation and discouraging restoration practice and research. In this context, this study aims to analyze strategies for the ecological restoration of HSA. We carried out nursery tests to assess the hydrological saturation tolerance of 15 tree species typical from wetlands and used a non-typical species as control. Species were evaluated based on height and diameter at soil height increase, survival, development of morphological responses and the possible relation of the latter with growth rates. The cluster analysis classified species in groups based on five hydrological saturation tolerance levels, pointing that, for most species, higher hydrological saturation levels results in lower tolerance to this stress. An analysis of variance and Tukey test identified which species presented morphological characteristics (lenticels hypertrophy and adventitious roots) and the morphological indicators were compared among the clustered groups; this analysis demonstrated that such morphological responses are associated to the species adaptation for both survival and growth in saturated conditions. Two field experiments were also carried out aiming to test soil preparation that could favor seedling establishment and growth. An analysis of variance and Tukey test was carried out to test the effects of soil preparation on seedling height and diameter at soil height growth and survival. Additionally, we carried out a cluster analysis to separate species into groups containing functional characteristics that may favor restoration projects. We observed that soil preparation techniques, in small scale, had no influence on the establishment and development of seedlings typical of HSA and that the selection of species that are tolerant to hydrological saturation at different levels is the most important factor for restoration of these environments. Thus, restoration projects in wetlands should give special attention for the selection of species adapted to these conditions, which is more determinant for restoration success than soil preparation. Future studies should focus in identifying species functional groups that could be used to restore these areas.

Keywords: Hydrologically sensitive areas; Water table; Water saturation; Morphologicals structures

1 INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por água pela agricultura, pela indústria e pelo consumo humano, combinado com a degradação histórica dos ecossistemas nativos, tem comprometido a segurança hídrica da sociedade. A população global está crescendo em torno de 80 milhões de pessoas por ano (FAO, 2011), implicando em um aumento anual da demanda por água de aproximadamente 64 bilhões de metros cúbicos (UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME, 2012). Hoje, 40% da população mundial é afetada pela escassez de água e cientistas alertam que mais de dois terços dos habitantes do planeta poderão enfrentar problemas com suprimento de água em 2025 (FAO, 2011). Principalmente em países mais populosos, como a China, onde a restrição de acesso à água potável já afeta 700 milhões de pessoas, esse cenário é mais dramático (FAO, 2011).

Como forma de reverter esse cenário alarmante para a sobrevivência e bem estar do homem, diversos programas de recuperação da cobertura florestal nativa em bacias hidrográficas degradadas têm sido realizados no mundo todo, como o Pacto pela Restauração da Mata Atlântica no Brasil (CALMON et al., 2011), o Chesapeake Bay Program nos Estados Unidos (MCBRIDE; HESSION; RIZZO, 2008) e o Working for Water na África do Sul (TURPIE; MARAIS; BLIGNAUT, 2008). Diante do crescente número de programas de pagamento por serviços ambientais (PSA) relacionados à provisão de água potável e regulação de processos hidrológicos, espera-se uma forte expansão das iniciativas voltadas para a recuperação de bacias hidrográficas no mundo todo, especialmente naquelas provedoras de água para grandes centros urbanos (STANTON et al., 2010).

Por exemplo, o Projeto Conservador das Águas, conduzido na cidade de Extrema/MG, na região do bioma Mata Atlântica, foi a primeira iniciativa brasileira cujo pagamento por serviços ambientais foi realizado por governos locais com o objetivo de garantir água de qualidade e em quantidade suficiente para abastecer mais de dois terços da região metropolitana de São Paulo (total aproximado de 18 milhões de pessoas). Em cinco anos de projeto 2.821,88 hectares foram reflorestados, principalmente em áreas ciliares de rios e nascentes, além de ser realizado o manejo conservacionista de solo, auxiliando na recuperação dos serviços ecossistêmicos de qualidade e fluxo regulatório de água por meio do pagamento mensal aos produtores rurais pelas mudanças de uso do solo (CASSOLA, 2010). De 2007 a 2013, 150 contratos de PSA foram firmados nesse programa, envolvendo investimentos da ordem de US\$753.000 anuais. As perspectivas de aumento dos programas de PSA no Brasil são muito favoráveis: 79 projetos foram descritos por Guedes e Seehusen

(2011) em 2011 apenas na Mata Atlântica brasileira, sendo a maioria (41) voltada para a recuperação de bacias hidrográficas para aumentar a segurança hídrica da população. De fato, o principal benefício de projetos de restauração florestal esperado pelas populações urbanas é a proteção dos recursos hídricos (BRANCALION et al., 2013).

Apesar da melhoria dos serviços ecossistêmicos relacionados à regulação dos processos hidrológicos depender do manejo integrado de toda a bacia hidrográfica, algumas porções da bacia apresentam importância destacada nesse contexto: as áreas hidrologicamente sensíveis (AHS). As AHS são áreas de uma bacia hidrográfica que estão mais propensas a atingirem o estado de saturação hídrica de solo e de, conseqüentemente, gerarem escoamento superficial como resultado direto da variação dinâmica do nível do lençol freático (SIEFERT; SANTOS, 2010; AGNEW et al., 2006; WALTER et al., 2000; GORSEVSKI et al., 2008). Assim, as AHS naturais normalmente são ocupadas por vegetações adaptadas à influência direta das variações temporais da altura do lençol freático, podendo ser campos úmidos, quando o tempo de residência da água é maior, ou florestas paludosas, quando há maior renovação da água no solo. As florestas paludosas, também denominadas matas-de-brejo ou florestas latifoliadas higrófilas (LEITÃO FILHO, 1982; IVANAUSKAS; RODRIGUES; NAVE, 1997), ocorrem em solos hidromórficos com saturação hídrica em caráter temporário ou permanente em função do afloramento do lençol freático, e são encontradas principalmente em depressões, cabeceiras e margens de cursos d'água (LEITÃO FILHO, 1982; IVANAUSKAS; RODRIGUES; NAVE, 1997; TONIATO; LEITÃO FILHO; RODRIGUES, 1998; TEIXEIRA; ASSIS, 2007). Neste contexto, a maioria das nascentes que são circundadas por uma vegetação característica com uma biodiversidade peculiar, protegem AHS, prestando um importante serviço ambiental para a sociedade (KOLOWSKI, 2002).

Tais florestas tornam-se áreas importantes para a proteção e garantia de qualidade dos recursos hídricos, pois promovem a sua disponibilidade, controle da erosão e de cheias, retenção de nutrientes pelo processo de sedimentação (UNGHIRE et al., 2011; MEYFROIDT; LAMBIN, 2011), filtragem biológica e física que garantem o controle da composição química da água (Hamilton, 2008), provisão de matéria orgânica e filtragem de fertilizantes e pesticidas utilizados na agricultura (SALEMI et al., 2012). Também contribuem para o aumento da infiltração de água no solo de maneira gradual, diminuição do escoamento superficial (SALEMI et al., 2011; KUMAR et al., 2010; TOMER et al., 2009) e recarga de aquíferos (SALEMI et al., 2011), sendo que estes efeitos são mais pronunciados nos períodos de seca, quando o solo não está saturado. Além de todas estas funções ecológicas as florestas ripárias e paludosas têm importantes efeitos hidrológicos na produção de água em uma

microbacia (SALEMI et al., 2012) e portanto a conservação e preservação destas áreas de baixa resiliência são imprescindíveis.

No entanto, a saturação hídrica do solo e geração de escoamento superficial, que tornam essas áreas tão especiais para a geração de serviços ecossistêmicos relacionados à provisão de água, também dificultam sua recuperação florestal em função de o estabelecimento e o desenvolvimento das plantas terem a tendência de serem limitados em condições de solo saturado (BAATTRUP-PEDERSEN et al., 2013; SIMMONS; BEN WU; WHISENANT, 2012). Como resultado da alteração da dinâmica da água do solo que ocorre com a degradação das AHS, o potencial de regeneração natural tende a ser muito limitado nessas áreas, tornando-se necessário o plantio de mudas. No entanto, o desenvolvimento de mudas, mesmo que de espécies adaptadas a solos hidromórficos, tende a ser muito prejudicado em AHS degradadas, desestimulando a recuperação dessas áreas tão importantes para o restabelecimento de serviços ecossistêmicos hidrológicos (ZAMITH; SCARANO, 2010; BAATTRUP-PEDERSEN et al., 2013).

O longo período de permanência da água no solo produz uma série de alterações físicas, biológicas e químicas no solo, ocasionando um processo de hipoxia (baixa presença de oxigênio) ou anoxia (ausência de oxigênio), que limitam a disponibilidade de nutrientes e impedem a realização de trocas gasosas pelas raízes das plantas, pois o solo que anteriormente era ocupado por espaços de ar é preenchido pela água (RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ et al., 2010; OLIVEIRA; JOLY, 2010; KOLB; JOLY, 2009; SILVA; HIGUCHI; VAN DEN BERG, 2010; PAROLIN; WITTMANN, 2010). Devido ao esgotamento do oxigênio disponível às plantas, que é rapidamente consumido, ocorre uma redução na permeabilidade das raízes, fechamento dos estômatos, diminuição da fotossíntese, inibição da produção de novas folhas e da expansão foliar, senescência precoce e abscisão das folhas e, conseqüentemente, redução do crescimento inicial em altura e perda de vigor (GLENZ et al., 2006, ALAOUI-SOSSÉ et al., 2005; KOLOWSKI; PALLARDY, 1997; TOURNAIRE-ROUX et al., 2003; MEDINA et al., 2009; WALLS; WARDROP; BROOKS, 2005).

A disponibilidade de oxigênio é um fator crítico na fase de estabelecimento inicial e é nesse estágio que ocorre a maior mortalidade de plantas em ambientes com saturação hídrica de solo (KOLOWSKI; PALLARDY, 1997). Como resposta a essas restrições ambientais, as espécies nativas arbustivo-arbóreas típicas de AHS possuem adaptações morfológicas que buscam manter o metabolismo aeróbico nas raízes, como o desenvolvimento de aerênquimas, a hipertrofia de lenticelas e a formação de raízes adventícias, que facilitam as trocas gasosas e mitigam os efeitos negativos do alagamento de

solo por longos períodos (RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ et al., 2010; PAROLIN; WITTMANN, 2010). Estas são consideradas espécies tolerantes ao alagamento, pois são aquelas que sobrevivem e se desenvolvem sob condições de saturação hídrica por meio de um sistema complexo de adaptações morfológicas, anatômicas e fisiológicas que variam de espécie para espécie (KOLOWSKI; PALLARDY, 1997). Do ponto de vista fisiológico, uma adaptação observada é a indução da fermentação na ausência da respiração aeróbica, que mantém a capacidade de síntese de ATP (adenosina trifosfato), mas que gera alguns subprodutos como o etanol (KOLB; JOLY, 2009) e outros compostos tóxicos (PAROLIN; WITTMANN, 2010; GLENZ et al., 2006).

Apesar do compartilhamento de estratégias adaptativas, as espécies de AHS apresentam diferentes níveis de tolerância à saturação hídrica do solo resultantes das adaptações que possuem em relação à habilidade de reação morfológica, fisiológica e metabólica ao estresse, que também são influenciados pela idade da planta (XIAOLING et al., 2011; KOLOWSKI; PALLARDY, 1997; GLENZ et al., 2006). Estas características determinam a composição, abundância e distribuição espacial das espécies em áreas brejosas, sendo que baixas riquezas de espécies são mais pronunciadas em AHS que apresentam altas variações no nível do lençol freático (SILVA; HIGUCHI; VAN DEN BERG, 2010; GLAESER; WULF, 2009; WALLS; WARDROP; BROOKS, 2005; SIMMONS; BEN WU; WHISENANT, 2009; TEIXEIRA; ASSIS; LUIZE, 2011; SIMMONS; BEN WU; WHISENANT, 2012).

Devido a estas limitações, alguns trabalhos de recuperação de AHS (ver exemplos em SIMMONS; BEN WU; WHISENANT, 2009; SIMMONS; BEN WU; WHISENANT, 2012; BRULAND; RICHARDSON, 2005) aplicaram metodologias de engenharia para recriar a heterogeneidade do relevo, que é bem particular das AHS, caracterizadas pela presença de depressões, canais de drenagem, montículos de terra e buracos, resultantes de processos erosivos, sedimentação e escoamento superficial. No entanto, os custos destes processos são extremamente elevados, assim como os impactos ambientais decorrentes da movimentação de terra em áreas úmidas, o que inviabiliza a adoção de algumas dessas estratégias em projetos de restauração ecológica (STOLT et al., 2000).

Diante desta problemática, a identificação de AHS com diferentes níveis de saturação hídrica e o conhecimento de espécies arbustivo-arbóreas tolerantes às diferentes variações de lençol freático são demandas prementes de pesquisa para a definição de métodos de restauração destes ambientes. Neste sentido, o objetivo desse trabalho foi desenvolver

estratégias para a restauração ecológica de AHS, especificamente das florestas paludosas, buscando-se responder as seguintes perguntas:

- I. Como classificar as espécies arbóreas quanto à tolerância à saturação hídrica de solo para uso na restauração florestal dessas áreas?
- II. Como organizar as espécies arbóreas em grupos funcionais de plantio de acordo com a adaptação a diferentes níveis de saturação hídrica de solo?
- III. Existe um método de preparação do solo mais adequado para a restauração florestal de AHS?

2 MATERIAL E MÉTODOS

Em vista dos objetivos inerentes ao presente estudo, foram conduzidos três experimentos: um experimento realizado no viveiro do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Campus da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP) e outros dois experimentos instalados em campo, todos na cidade de Piracicaba, SP, sendo um localizado no distrito de Artemis e outro na ESALQ/USP. Os experimentos foram conduzidos entre os meses de fevereiro de 2012 e março de 2013.

2.1 Experimento em viveiro

Foi instalado um experimento em viveiro a fim de classificar funcionalmente espécies nativas arbóreas e arbustivas típicas de florestas paludosas em relação à adaptação a saturação hídrica permanente de solo, visando subsidiar a escolha de espécies mais indicadas para o plantio de mudas em diferentes condições de elevação do nível do lençol freático. Também foi usada uma espécie não típica de florestas paludosas como controle, a fim de confirmar se as condições testadas representaram realmente condições estressantes para as plantas. O experimento foi instalado em maio de 2012 e finalizado em janeiro de 2013, em condições de viveiro florestal (incidência direta de luz, três a quatro irrigações diárias, temperatura média no período de 27,5 °C) (CEPAGRI, 2013). As mudas foram transplantadas de tubetes de 256 cm³ de volume para sacos plásticos de 16 cm de altura (785 cm³), furados lateralmente e preenchidos com solo obtido na área experimental de campo da ESALQ/USP, representando assim parte das características físico-químicas de solos hidromórficos.

2.1.1 Espécies utilizadas

Foram utilizadas mudas de 15 espécies (arbustivas e arbóreas) nativas tipicamente encontradas em florestas paludosas da região de Piracicaba, SP (RODRIGUES, 1999) e encontradas no fragmento de floresta paludosa da área da ESALQ/USP e uma espécie, *Piper aduncum* L. (Piperaceae), escolhida equivocadamente, pois não é típica desse ambiente. Todas as espécies são encontradas na região de domínio da Floresta Estacional Semidecidual, do bioma Mata Atlântica. Em relação à expectativa de crescimento essas espécies podem ser agrupadas em: (1) crescimento rápido - *Alchornea glandulosa* Poepp. & Endl. (Euphorbiaceae), *Cecropia pachystachya* Trecul. (Urticaceae), *Croton urucurana* Baill. (Euphorbiaceae), *Citharexylum myrianthum* Cham. (Verbenaceae), *Inga marginata* Willd. (Fabaceae), *Guazuma ulmifolia* Lam. (Malvaceae), *Miconia chamissois* Naudin.

(Melastomataceae), *Ficus insipida* Willd. (Moraceae), *Piper aduncum* L. (Piperaceae) e *Tapirira guianensis* Aubl. (Anacardiaceae); (2) crescimento lento - *Dendropanax cuneatus* DC. Decne. & Planch. (Araliaceae), *Handroanthus umbellatus* Sond. Mattos. (Bignoniaceae), *Calophyllum brasiliense* Cambess. (Calophyllaceae), *Magnolia ovata* A.St.-Hil. Spreng. (Magnoliaceae), *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) e *Myrsine umbellata* Mart. Mez (Primulaceae).

2.1.2 Tratamentos testados

Diante do objetivo de comparar o desenvolvimento das plantas em diferentes regimes hídricos permanentes, foram estabelecidos quatro tratamentos no experimento (Figura 1):

T0 – Sem lâmina de água. Nesse tratamento as mudas foram mantidas com irrigação diária, mas sem que houvesse a formação de lâmina permanente de água, simulando uma condição de normoxia.

T1 – Lâmina de 8 cm. As mudas desse tratamento tinham 8 cm de substrato imerso na lâmina de água permanente e 8 cm fora da água, o que simula uma condição de hipoxia. Em campo, essa condição corresponderia a um lençol freático alto.

T2 – Lâmina de 16 cm. As mudas desse tratamento tinham todo o substrato (16 cm) imerso em lâmina de água permanente. Nessa situação se simula uma condição de solo encharcado e, conseqüentemente de anoxia. Em campo, essa condição corresponderia a um lençol freático muito alto.

T3 – Lâmina de 18 cm. Além do substrato completamente submerso, a muda ainda tinha 2 cm de lâmina de água acima do colo, em uma condição de anoxia. Em campo, essa condição corresponderia a um lençol freático muito alto, o que dificulta ainda mais a tolerância ao alagamento.

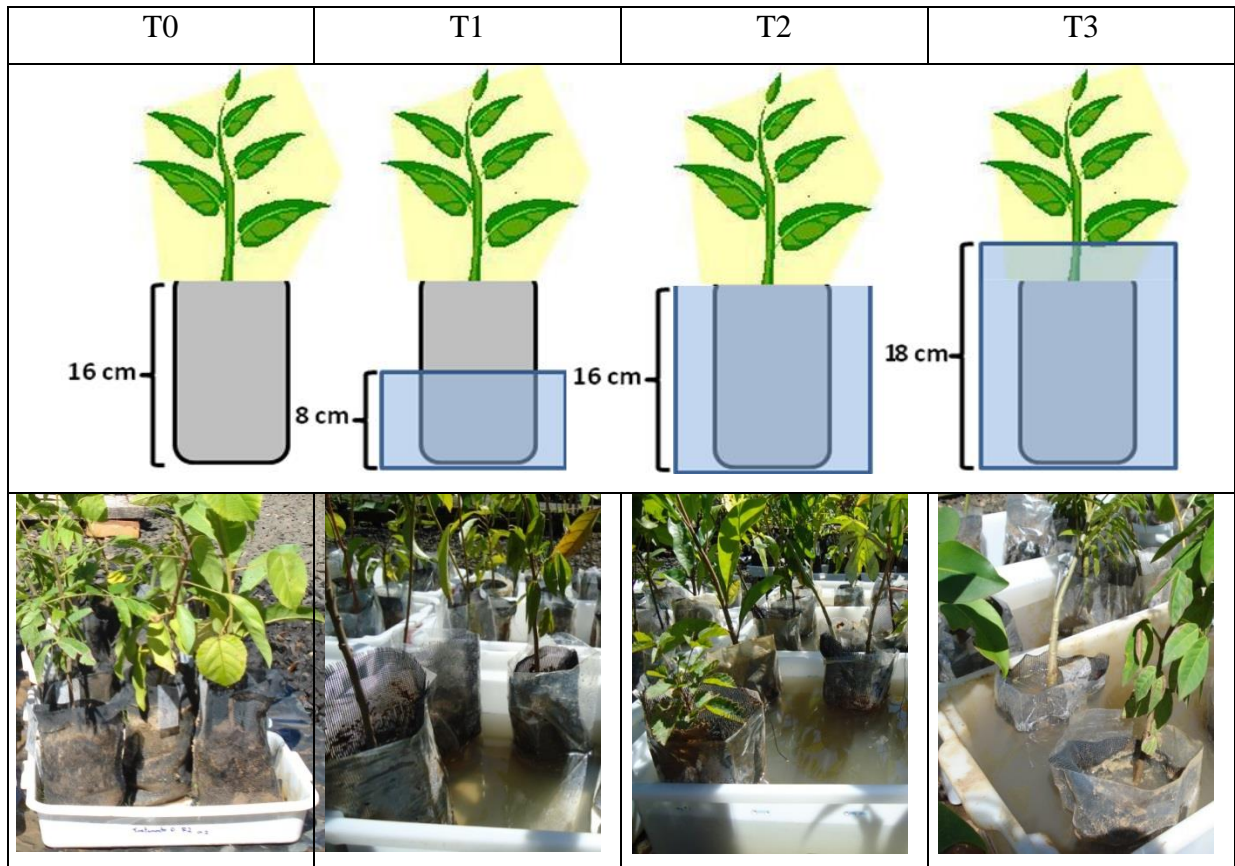


Figura 1 - Tratamentos testados em viveiro: T0 - sem lâmina de água (normoxia); T1 - lâmina d'água de 8 cm (hipoxia); T2 - lâmina d'água de 16 cm, na altura do colo da planta (anoxia) e T3 - lâmina d'água de 18 cm, 2 cm de lâmina d'água acima do colo da muda (anoxia)

Para obter os tratamentos acima descritos, caixas plásticas (34x23x7 cm para o tratamento T0 e 47x29x18 cm para os tratamentos T1, T2 e T3) foram utilizadas com perfurações na base para gerar o T0, para que não houvesse qualquer acumulação de água nas raízes das mudas, na altura de 8 e 16 cm para os T1 e T2, respectivamente, para gerar as condições de hipoxia e anoxia, e sem perfurações, para gerar uma lâmina d'água de 18 cm para o T3, resultando em uma condição de anoxia com submersão do colo da muda.

As mudas foram colocadas nas caixas plásticas e em seguida foi feita a introdução de água até que houvesse extravasamento pelos furos que determinaram a altura da lâmina de água. O nível de água foi mantido constante durante todo o período do experimento por meio da adição diária de água para compensar as perdas por evapotranspiração. Além disso, a cada dez dias as caixas plásticas eram limpas. O experimento foi casualizado em blocos tendo sido delineada a instalação de 5 blocos completos. Em cada bloco foram alocadas uma muda de cada espécie em cada um dos tratamentos definidos de maneira aleatória.

2.1.3 Parâmetros avaliados e indicadores gerados

Foram avaliados a mortalidade, o diâmetro à altura do solo (com paquímetro digital) e a altura (medida com régua do colo da planta até a inserção da última folha). Com esses dados, foram calculados os indicadores: taxa e tempo de sobrevivência, e taxa de crescimento relativizado à testemunha para altura e diâmetro. As taxas de crescimento relativizado à testemunha foram calculadas por meio da função “inclinação” do software Excel e se refere ao coeficiente angular obtido por meio de um modelo de regressão linear simples. Nesses modelos, a altura e o diâmetro foram tratados como variáveis dependentes e o número de meses desde o início do experimento até a data de coleta da informação foi tratada como variável preditora. Sendo assim, cada planta teve a sua taxa de crescimento em diâmetro e a sua taxa de crescimento em altura calculados de forma independente em cada unidade experimental.

Para comparação das variáveis de resposta, procedeu-se à padronização dos valores de inclinação, tendo como base o valor de cada espécie na testemunha, condição controle (sem lâmina de água), de acordo com a eq. (1).

$$y = \frac{\bar{T}_i - \bar{T}_0}{\bar{T}_0} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

y: variáveis de resposta calculada para comparação dos efeitos

\bar{T}_i : Média do indicador calculado para os cinco blocos, dos tratamentos com lâmina de água (i=1,2,3)

\bar{T}_0 : Média do indicador calculado para os cinco blocos do tratamento controle (sem lâmina de água)

Com o intuito de identificar se as espécies submetidas a diferentes lâminas de água desenvolviam algum tipo de resposta morfológica, possivelmente em decorrência do estresse hídrico à que foram submetidas, mensalmente e pelo período de nove meses foi observado e anotado para cada planta a presença de raízes adventícias e a existência de hipertrofia de lenticelas, estruturas morfológicas importantes de adaptação às condições de alagamento.

O primeiro indicador gerado com essa avaliação foi a ocorrência ou não ocorrência dessas estruturas morfológicas, independentemente do tempo que tenha decorrido desde o início do experimento. Dessa forma, uma muda na qual se tenha observado a presença de raízes adventícias no primeiro mês é igual a uma planta na qual as raízes adventícias tenham surgido no quinto mês, por exemplo.

Um segundo indicador gerado foi o tempo decorrido desde o início do experimento até o mês no qual a estrutura morfológica (lenticela hipertrofiada ou raiz adventícia) tenha sido observada. Nesse caso, as duas plantas anteriormente citadas no exemplo teriam valores diferentes, já que na primeira, a estrutura surgiu no primeiro mês (tendo indicador 1) enquanto que na segunda surgiu no mês 5, resultando no indicador 5. Obteve-se, portanto, um indicador da velocidade do surgimento das estruturas morfológicas, o qual pode ser útil na diferenciação adaptativa de espécies com o mesmo tipo de estrutura morfológica.

Com base nesses indicadores, foram calculadas as variáveis analisadas comparando o resultado observado e quantificado para cada espécie nos tratamentos T1, T2 e T3 com o controle (T0), de acordo com a equação 1. As variáveis calculadas foram: ocorrência de (1) raízes adventícias e de (2) hipertrofia de lenticelas, e velocidade de surgimento de (3) raízes adventícias e de (4) hipertrofia de lenticelas.

Para comparar as variáveis de ocorrência das estruturas morfológicas e de velocidade de surgimento das mesmas com as taxas de crescimento e estabelecimento inicial das mudas, foi calculada uma taxa percentual que teve por base a média de todas as espécies no tratamento, valor que foi associado às médias das medidas observadas nas espécies que compõem cada grupo da análise de agrupamento e tiveram taxas relativas calculadas multiplicadas por 100%, conforme expresso na eq. (2).

$$Taxa (\%) = \frac{\text{Média das espécies no grupo}}{\text{Média de todas as espécies}} \times 100 \quad (2)$$

Essa comparação foi realizada entre os grupos constituídos por meio de uma análise de agrupamento (*cluster analysis*) efetuada independentemente em cada um dos tratamentos (T1, T2, T3), não tendo sido realizada no T0 em função da ausência de ocorrência das estruturas morfológicas. A análise de agrupamento se baseou nas medidas de crescimento (diâmetro e altura) e de sobrevivência, tendo sido avaliados os resultados e arbitrados conceitos relacionados às características adaptativas dos grupos e, em seguida, os indicadores de ocorrência e tempo para surgimento das estruturas morfológicas foram comparados entre os grupos. Assim, foram calculadas, a partir da análise de agrupamento, as taxas de ocorrência e tempo de ocorrência de hipertrofia de lenticelas e de raízes adventícias. Nessas taxas, valores iguais a 100 indicam comportamento similar ao da média de todas as espécies.

2.2 Experimento em campo

Foram instalados dois experimentos em campo a fim de definir quais métodos de preparo de solo mais favorecem o crescimento e estabelecimento inicial de espécies arbustivas e arbóreas nativas tipicamente encontradas em florestas paludosas de forma a fornecer subsídios para a definição de estratégias de restauração florestal específicas para esse ecossistema. Os experimentos foram instalados em nascentes degradadas no município de Piracicaba, SP, sendo uma no campus “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP) e outra em uma propriedade rural no distrito de Artemis, totalizando 0,62 ha e 0,04 ha de área, respectivamente. Ambas as áreas encontram-se em condições edáficas típicas de florestas paludosas (solos hidromórficos), e estão inseridas na região de domínio da Floresta Estacional Semidecidual do bioma Mata Atlântica.

2.2.1 Métodos de preparo de solo

Foram testados ao todo três métodos de preparo de solo (Figura 2):

Método convencional. As mudas desse método foram plantadas em covas convencionais que consistem no plantio de mudas em covas (30x30x30 cm), preparadas com cavadeira manual, na qual o colo da muda permanece ao nível do solo. Em solos hidromórficos, é comum a cova se encher de água logo após sua abertura, de forma que a muda é plantada já numa condição de encharcamento permanente.

Método montículo. As mudas foram plantadas em covas invertidas (30x30x30 cm). O solo foi retirado da cova com cavadeiras manuais e depositado ao lado, formando um pequeno morro, onde a muda foi plantada. A proposta desse método é que o colo da muda e a porção superior do seu sistema radicular fiquem acima do nível do lençol freático, de forma a reduzir a influência do encharcamento do solo.

Método Sulco. As mudas foram plantadas em covas convencionais e entre as linhas de plantio foram abertas valas de drenagem lineares com espaçamento de 2 metros entre si, utilizando-se um sulcador puxado por um trator. Os sulcos foram feitos perpendicularmente ao nível do relevo, de forma a drenar a água acumulada no solo para a parte mais baixa do terreno. A proposta desse método é que essas valas atuem como pequenos drenos, reduzindo a altura da lâmina d'água na região do sistema radicular das mudas e, assim, favorecendo o desenvolvimento delas.

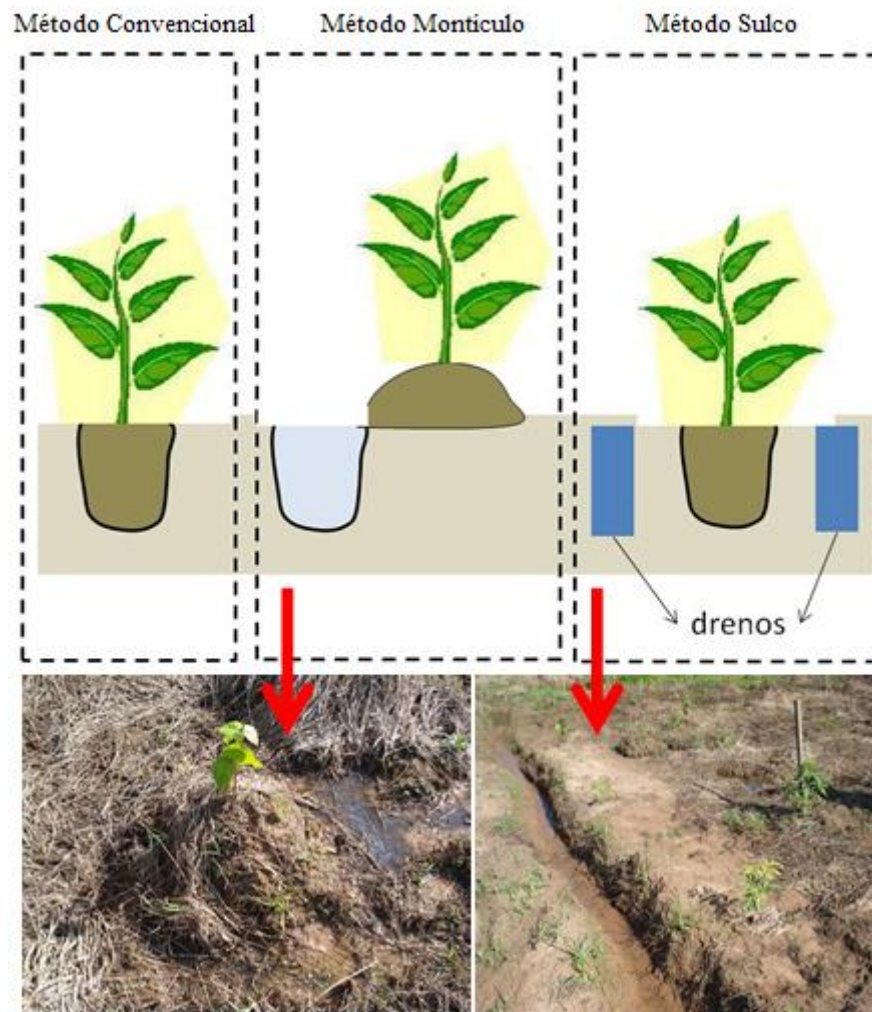


Figura 2 - Métodos de preparo de solo testados em campo: Método Convencional – plantio de mudas em covas (30x30x30 cm), preparadas com cavadeira manual, na qual o colo da muda permanece ao nível do solo; Método Montículo - mudas plantadas em covas invertidas (30x30x30 cm) e Método Sulco – plantio de mudas em covas convencionais e valas de drenagem lineares com espaçamento de 2 metros entre si.

Os três métodos acima descritos foram implantados na ESALQ em fevereiro de 2012, e os métodos “convencional” e “montículo” em Artemis em junho de 2012. O método “sulco” não foi implantado em Artemis devido ao tamanho reduzido da área e à elevada declividade, que impossibilitou a utilização de trator para abertura de sulcos no local. As espécies foram plantadas em espaçamento 2x2 m, adubadas com 200 gramas de fertilizante NPK 6:30:6 e tiveram o manejo de plantas daninhas realizado por meio de controles periódicos através de coroamento e roçagem em ambas as áreas, e pulverização de herbicida glifosate no experimento da ESALQ. Em ambas as áreas foram utilizadas mudas das mesmas espécies descritas no experimento de viveiro, excetuando-se a espécie *Piper aduncum* que foi substituída pela *Euterpe edulis* em Artemis. Esta espécie foi substituída, pois foi escolhida

equivocadamente e foi identificado no experimento em viveiro que após quatro dias da sua submissão às diferentes lâminas de água, todos os indivíduos morreram, confirmando que não é uma espécie tolerante ao alagamento.

O delineamento experimental adotado em ambas as áreas foi o de blocos casualizados. Na ESALQ/USP foram sete blocos completos. Em cada bloco foram alocadas duas mudas de cada espécie em cada um dos tratamentos definidos de maneira aleatória. Cada tratamento tinha uma parcela experimental de 8x16 m, com quatro linhas de plantio de 16 m cada, totalizando 32 mudas por parcela. Em Artemis foram cinco blocos completos. Em cada bloco foi alocada uma muda de cada espécie em cada um dos tratamentos definidos de maneira aleatória. Cada tratamento tinha uma parcela experimental de 8x8 m, contendo quatro linhas de plantio de 8 m, totalizando 16 mudas por parcela. O experimento foi avaliado a cada dois meses, por um período de um ano após a implantação, em relação à mortalidade, diâmetro à altura do solo e altura das mudas. Os resultados foram utilizados para o cálculo da taxa e tempo de sobrevivência, e taxa de crescimento relativizado à testemunha para altura e diâmetro, conforme descrito no experimento em viveiro.

Foi feito o acompanhamento quinzenal do nível do lençol freático durante o período de 9 meses, entre agosto de 2012 a abril de 2013. Na ESALQ, foram instalados 11 piezômetros espaçados 12 metros entre si em três transectos paralelos, e em Artemis quatro piezômetros espaçados 8 metros entre si em dois transectos paralelos.

2.3 Questões levantadas e análise de dados

Foram formuladas as seguintes questões com base nos dados obtidos e nos apontamentos acima:

1. Como diferenciar as espécies arbustivas e arbóreas em relação à tolerância a diferentes condições de saturação hídrica do solo? A classificação das espécies com relação a esse fator é importante para definir a composição de espécies a ser utilizada no plantio de restauração florestal em função das condições de saturação hídrica do solo, bem como para distribuir espacialmente estas espécies em uma determinada área em função das variações locais de profundidade do lençol freático. Com base no experimento de viveiro, foi realizada uma análise de agrupamento (Cluster Analysis – ANEXO A) usando a taxa e tempo de sobrevivência, e taxa de crescimento relativo em altura e em diâmetro. A partir dos resultados da análise de agrupamento e das médias obtidas por grupo para essas variáveis em cada altura de lâmina d'água estudada, foi atribuído um conceito qualitativo para diferentes intervalos de valores das variáveis (Tabela 1). Os conceitos atribuídos à taxa de sobrevivência e à taxa de

crescimento relativo em diâmetro de colo e altura foram então agrupados em cinco níveis de tolerância ao alagamento, os quais priorizaram a taxa de sobrevivência, por ser o principal componente da análise que explicou o agrupamento das espécies (ANEXO A).

Tabela 1 - Características dos grupos resultantes da análise de agrupamento (cluster analysis) e conceitos arbitrados a cada grupo de acordo com as médias obtidas a partir da relação por indivíduo de cada espécie entre a variável de um tratamento (com lâmina de água) e o tratamento sem lâmina de água, calculados em porcentagem.

Conceito	Taxa sobrevivência (%)	Taxa de crescimento em altura e diâmetro (%)
Bom	0,00 a -10,00	pelo menos uma taxa positiva
Regular	-10,10 a -30,00	-30,00 a -80,00
Ruim	-30,01 a -50,00	-70,00 a -160,00
Péssimo	-50,01 a -100,00	-160,00 a -300,00

- I. Tolerância muito alta (Nível 5): boa taxa de sobrevivência e boa taxa de crescimento relativo
- II. Tolerância alta (Nível 4): boa taxa de sobrevivência e taxa de crescimento relativo regular
- III. Tolerância média (Nível 3): taxa de sobrevivência boa a regular e taxa de crescimento relativo ruim
- IV. Tolerância baixa (Nível 2): taxa de sobrevivência ruim a péssima e taxa de crescimento relativo regular a ruim
- V. Tolerância muito baixa (Nível 1): taxa de sobrevivência péssima e taxa de crescimento relativo regular a ruim e péssimo.

Os resultados da taxa de sobrevivência e de crescimento em altura e diâmetro estão relacionados com a variação que existiu em comparação com o tratamento testemunha (sem lâmina de água). Sendo assim, uma taxa de sobrevivência de -10,00 significa que naquele grupo, as espécies arbóreas sobrevivem em média 10% a menos em relação ao tratamento controle (sem lâmina de água). Essa classificação não foi realizada para a espécie *Citharexylum myrianthum*, em função do crescimento da testemunha ter sido nulo e para a espécie *Piper aduncum*, devido a mortalidade de todos os indivíduos nos tratamentos T1, T2 e T3.

2. Como prever a tolerância das espécies arbustivas e arbóreas à saturação hídrica do solo em função de características morfológicas? Essa previsão pode favorecer o

estabelecimento de grupos funcionais associados à saturação hídrica do solo em função de características morfológicas das espécies, com base apenas em observações de campo e experimentos pouco elaborados. Com base no experimento em viveiro, foi feita uma análise de variância e ajustada ao modelo generalizado misto (GLMM). Efeitos significativos ($p < 0.05$) foram submetidos ao teste de Tukey. Adicionalmente, foram comparadas as variáveis indicadoras de alterações morfológicas (taxa de ocorrência e de tempo de ocorrência de hipertrofia de lenticelas e de raízes adventícias) nos grupos constituídos pela análise de agrupamento feita com base nas taxas de crescimento e sobrevivência.

3. Como escolher espécies arbustivas e arbóreas com maior potencial de estabelecimento em solos saturados para uso nos projetos de restauração de florestas paludosas? Em função da elevada mortalidade e reduzido crescimento inicial, ambos normalmente observados em plantios de restauração florestal em solos saturados, é essencial escolher espécies que consigam se estabelecer satisfatoriamente nessas condições adversas, permitindo a estruturação de uma fisionomia florestal na área degradada como forma de favorecer os processos naturais de regeneração. Foi adotado o conceito de “framework species” (BLAKESLEY; HARDWICK; ELLIOTT, 2002), buscando selecionar espécies com maior sobrevivência e crescimento inicial, favorecendo a colonização de áreas degradadas em solos hidromórficos e, conseqüentemente, a redução dos custos e aumento da eficiência dos projetos de restauração. Com base no experimento de campo, foi feita uma análise de agrupamento (Cluster Analysis) usando as variáveis: taxa de sobrevivência e taxa de crescimento relativo em altura e diâmetro, e classificados os grupos quanto aos resultados obtidos.

4. Existe um método de preparo do solo mais adequado para a restauração florestal de áreas degradadas em solos hidromórficos? Sabendo que nas florestas paludosas as variações locais do micro relevo geralmente estão ligadas às estratégias de estabelecimento e sobrevivência das espécies (TEIXEIRA et al., 2011) o plantio de mudas para a restauração florestal seria definido a partir da escolha de métodos de preparo do solo que mais favorecessem o crescimento e estabelecimento inicial destas espécies. Assim, primeiramente foi feita uma análise de variância e teste de Tukey para verificar se o método de preparo de solo tem efeito sobre a taxa de crescimento relativo em altura e diâmetro e tempo de sobrevivência para a comunidade. Em seguida, foi feita uma análise de correlação residual a fim de mensurar uma possível associação entre o tempo de duração da saturação hídrica e as taxas de crescimento (relativo em altura e diâmetro) e o tempo de sobrevivência para o desenvolvimento e estabelecimento inicial de cada espécie na experimentação em campo. Por

fim, uma análise de variância tendo o nível do lençol freático como covariável e o método de preparo de solo como fator foi efetuada e complementada pelo teste de Tukey, para testar se o método de preparo de solo tem efeito sobre a taxa de crescimento relativo em altura e diâmetro e tempo de sobrevivência para as espécies.

Todas as análises foram efetuadas com uso do sistema SAS (SAS INSTITUTE, 2010) adotando o nível de significância de 5% nos testes estatísticos.

3 RESULTADOS

3.1 Avaliação da tolerância ao alagamento

As espécies arbustivas e arbóreas estudadas apresentaram diferentes níveis de tolerância ao alagamento, evidenciado pelo desempenho diferenciado em termos de sobrevivência e crescimento em função da altura da lâmina de água a que foram submetidas no experimento de viveiro (Tabela 2).

Tabela 2 - Ordenamento das espécies arbustivas e arbóreas nos tratamentos estudados em viveiro de acordo com a tolerância à saturação hídrica de solo. Tratamento 1 – lâmina d’água de 8 cm (hipoxia), Tratamento 2 – lâmina d’água de 16 cm, na altura do colo da planta (anoxia), e Tratamento 3 – lâmina d’água de 18 cm, 2 cm de lâmina d’água acima do colo da muda (anoxia). Nível: nível de tolerância à saturação hídrica criados a partir das taxas de sobrevivência, altura e diâmetro; nível 5: tolerância muito alta, nível 4: tolerância alta, nível 3: tolerância média; nível 2: tolerância baixa, nível 1: tolerância muito baixa

Tratamento 1	Nível	Tratamento 2	Nível	Tratamento 3	Nível
<i>Croton urucurana</i>	5	<i>Croton urucurana</i>	5	<i>Croton urucurana</i>	5
<i>Cedrela odorata</i>	5	<i>Cedrela odorata</i>	5	<i>Inga marginata</i>	4
<i>Ficus insipida</i>	5	<i>Miconia chamissois</i>	5	<i>Calophyllum brasiliense</i>	4
<i>Magnolia ovata</i>	5	<i>Ficus insipida</i>	4	<i>Magnolia ovata</i>	4
<i>Cecropia pachystachya</i>	5	<i>Magnolia ovata</i>	4	<i>Alchornea glandulosa</i>	4
<i>Inga marginata</i>	4	<i>Cecropia pachystachya</i>	4	<i>Cecropia pachystachya</i>	3
<i>Calophyllum brasiliense</i>	4	<i>Inga marginata</i>	4	<i>Tapirira guianensis</i>	3
<i>Tapirira guianensis</i>	4	<i>Calophyllum brasiliense</i>	4	<i>Miconia chamissois</i>	2
<i>Alchornea glandulosa</i>	4	<i>Tapirira guianensis</i>	4	<i>Cedrela odorata</i>	2
<i>Dendropanax cuneatus</i>	4	<i>Alchornea glandulosa</i>	3	<i>Ficus insipida</i>	2
<i>Guazuma ulmifolia</i>	4	<i>Dendropanax cuneatus</i>	3	<i>Dendropanax cuneatus</i>	1
<i>Myrsine umbellata</i>	4	<i>Guazuma ulmifolia</i>	2	<i>Guazuma ulmifolia</i>	1
<i>Handroanthus umbellatus</i>	2	<i>Handroanthus umbellatus</i>	2	<i>Myrsine umbellata</i>	1
<i>Miconia chamissois</i>	2	<i>Myrsine umbellata</i>	1	<i>Handroanthus umbellatus</i>	1

A altura da lâmina de água e o tempo de saturação hídrica estiveram negativamente associados com a sobrevivência e o crescimento das mudas (Tabela 2), mas a magnitude da redução de desempenho foi variável entre as espécies, o que é resultado da tolerância diferenciada em cada nível de lâmina de água. O aumento da lâmina de água reduziu o número de espécies classificadas como tendo tolerância muito alta e alta, evidenciando que a restauração florestal de áreas degradadas com maior nível de alagamento deve priorizar o uso

inicial de um grupo mais restrito de espécies arbustivas e arbóreas, mas bem escolhidas. No geral, apenas a espécie pioneira *C. urucurana* manteve-se como muito tolerante, mas outras espécies típicas de florestas paludosas, como *M. ovata*, *C. brasiliense* e *I. marginata*, mantiveram um alto nível de tolerância em todos os tratamentos (Tabela 2). Algumas espécies, como *C. pachystachya*, *F. insípida*, *G. ulmifolia* e *D. cuneatus*, foram gradualmente prejudicadas pelo aumento da lâmina d'água, evidenciando a limitação de uso dessas espécies em situações de maior encharcamento do solo.

3.2 Respostas morfológicas e associação à tolerância ao alagamento

O desenvolvimento de hipertrofia de lenticela e/ou de raízes adventícias foi observado em todas as espécies, exceto para a espécie usada equivocadamente (*Piper aduncum*), quando as mudas foram submetidas a algum nível de alagamento (Figura 3), ao passo que na testemunha nenhuma estrutura morfológica foi desenvolvida (ANEXO B). De uma forma geral, foram observados três tipos de respostas morfológicas nas espécies estudadas em relação ao aumento do nível de alagamento (Tabela 3): 1) espécies em que a produção de raízes adventícias e hipertrofia de lenticelas não foi influenciada pelo aumento da lâmina d'água; 2) espécies com aumento no desenvolvimento dessas estruturas morfológicas apenas quando as mudas foram submetidas a níveis mais altos de alagamento (tratamentos T3 e/ou T2); e 3) espécies com produção de raízes adventícias e hipertrofia de lenticelas em todos os tratamentos que tiveram alguma lâmina d'água.



Magnolia ovata T1, Bloco 2

Inga marginata T2, Bloco 1

Guazuma ulmifolia T3, Bloco 2

Figura 3 - Desenvolvimento de estruturas morfológicas nas espécies arbustivas e arbóreas estudadas em viveiro.

Hipertrofia de lenticelas em *Magnolia ovata*, *Inga marginata* e *Guazuma ulmifolia* e raízes adventícias em *Inga marginata*. T1 – lâmina d'água de 8 cm (hipoxia); T2 – lâmina d'água de 16 cm, na altura do colo da planta (anoxia); T3 – lâmina d'água de 18 cm, 2 cm de lâmina d'água acima do colo da muda (anoxia).

Tabela 3 - Respostas morfológicas observadas nas espécies estudadas em relação ao aumento do nível de encharcamento, para os tratamentos, identificando três tipos diferentes de características observadas. Tratamento 0 - Capacidade de campo (normoxia); Tratamento 1 – lâmina d'água de 8 cm (hipoxia); Tratamento 2 – lâmina d'água de 16 cm, na altura do colo da planta (anoxia); Tratamento 3 – lâmina d'água de 18 cm, 2 cm de lâmina d'água acima do colo da muda (anoxia). Letras minúsculas diferentes indicam diferenças ($p < 0,05$) indicadas pelo teste de Tukey para ANOVA. Os valores abaixo representam a média de detecções da presença de estruturas morfológicas de todos os indivíduos para cada espécie ($n=5$).

(continua)

Hipertrofia de Lenticelas	Tratamento 0		Tratamento 1		Tratamento 2		Tratamento 3	
Sem influência da lâmina d'água								
<i>Piper aduncum</i>	0	a	0	a	0	a	0	a
<i>Citharexylum myrianthum</i>	0	a	0	a	0	a	0	a
<i>Miconia chamissois</i>	0	a	0	a	0	a	0	a
Influência mais pronunciada em níveis mais elevados de lâmina d'água								
<i>Calophyllum brasiliense</i>	0	b	0,2 ± 0,4	b	1,0	a	1,0	a
<i>Cecropia pachystachya</i>	0	b	0,4 ± 0,5	b	1,0	a	1,0	a
<i>Cedrela odorata</i>	0	b	0	b	1,0	a	1,0	a
<i>Croton urucurana</i>	0	b	0	b	1,0	a	1,0	a
<i>Dendropanax cuneatus</i>	0	b	0,2 ± 0,4	b	1,0	a	0,8 ± 0,4	a
<i>Tapirira guianensis</i>	0	c	0,4 ± 0,5	b	1,0	a	1,0	a
<i>Handroanthus umbellatus</i>	0	c	0	c	1,0	a	0,6 ± 0,5	b
<i>Magnolia ovata</i>	0	c	0,6 ± 0,5	b	1,0	a	0,8 ± 0,4	ab
Influência em todos os níveis de lâmina d'água								
<i>Alchornea glandulosa</i>	0	b	1,0	a	1,0	a	1,0	a
<i>Ficus insipida</i>	0	b	1,0	a	1,0	a	1,0	a
<i>Inga marginata</i>	0	b	0,8 ± 0,4	a	1,0	a	1,0	a
<i>Myrsine umbellata</i>	0	c	0,8 ± 0,4	a	0,4 ± 0,5	b	0,8 ± 0,4	a
<i>Guazuma ulmifolia</i>	0	c	0,8 ± 0,4	a	1,0	a	0,4 ± 0,5	b
Raízes adventícias								
Sem influência da lâmina d'água								
<i>Piper aduncum</i>	0	a	0	a	0	a	0	a
<i>Guazuma ulmifolia</i>	0	a	0	a	0,2 ± 0,4	a	0	a
<i>Cedrela odorata</i>	0	a	0	a	0	a	0,2 ± 0,4	a
<i>Myrsine umbellata</i>	0	a	0	a	0	a	0,4 ± 0,5	a
<i>Citharexylum myrianthum</i>	0	a	0	a	0	a	0,4 ± 0,5	a
<i>Alchornea glandulosa</i>	0	a	0,4 ± 0,5	a	0	a	0,2 ± 0,4	a
<i>Ficus insipida</i>	0	a	0	a	0,4 ± 0,5	a	0,2 ± 0,4	a

Tabela 3 - Respostas morfológicas observadas nas espécies estudadas em relação ao aumento do nível de encharcamento, para os tratamentos, identificando três tipos diferentes de características observadas. Tratamento 0 - Capacidade de campo (normoxia); Tratamento 1 – lâmina d'água de 8 cm (hipoxia); Tratamento 2 – lâmina d'água de 16 cm, na altura do colo da planta (anoxia); Tratamento 3 – lâmina d'água de 18 cm, 2 cm de lâmina d'água acima do colo da muda (anoxia). Letras minúsculas diferentes indicam diferenças ($p < 0,05$) indicadas pelo teste de Tukey para ANOVA. minúsculas diferentes indicam diferenças ($p < 0,05$) indicadas pelo teste de Tukey para ANOVA. Os valores abaixo representam a média de detecções da presença de estruturas morfológicas de todos os indivíduos para cada espécie ($n=5$).

(conclusão)

Raízes adventícias	Tratamento 0		Tratamento 1		Tratamento 2		Tratamento 3	
Influência mais pronunciada em níveis mais elevados de lâmina d'água								
<i>Dendropanax cuneatus</i>	0	b	0	b	$0,6 \pm 0,5$	a	$0,6 \pm 0,5$	a
<i>Cecropia pachystachya</i>	0	b	$0,2 \pm 0,4$	b	$0,8 \pm 0,4$	a	1,0	a
<i>Croton urucurana</i>	0	b	0	b	$0,2 \pm 0,4$	ab	$0,6 \pm 0,5$	a
<i>Handroanthus umbellatus</i>	0	b	0	b	$0,2 \pm 0,4$	ab	$0,6 \pm 0,5$	a
<i>Calophyllum brasiliense</i>	0	b	$0,4 \pm 0,5$	ab	$0,4 \pm 0,5$	ab	$0,6 \pm 0,5$	a
<i>Magnolia ovata</i>	0	b	$0,4 \pm 0,5$	ab	$0,8 \pm 0,4$	a	$0,6 \pm 0,5$	a
Influência em todos os níveis de lâmina d'água								
<i>Miconia chamissois</i>	0	b	1,0	a	1,0	a	$0,8 \pm 0,4$	a
<i>Tapirira guianensis</i>	0	b	$0,8 \pm 0,4$	a	1,0	a	$0,6 \pm 0,5$	a
<i>Inga marginata</i>	0	c	$0,4 \pm 0,5$	bc	1,0	a	$0,8 \pm 0,4$	ab

O desenvolvimento de raízes adventícias e hipertrofia de lenticelas estiveram associadas às taxas de crescimento relativizado à testemunha e de sobrevivência para as 14 espécies (exceto *Piper aduncum* e *Citharexylum myrianthum*) (Tabela 4), evidenciando que essas estratégias adaptativas atuam conjuntamente na superação das limitações ecofisiológicas impostas pela saturação hídrica do solo. No entanto, observou-se que o desenvolvimento dessas estruturas foi afetado de forma diferencial pelo aumento da lâmina d'água. A ocorrência de lenticelas hipertrofiadas foi a resposta adaptativa mais observada para os grupos de tolerância alta a muito alta na condição de hipoxia (T1). O tempo demandado para a produção de raízes adventícias e para a hipertrofia de lenticelas, respectivamente, foram as características que mais influenciaram a sobrevivência e crescimento das espécies nas condições de anoxia (T2 e T3) (Tabela 4).

Tabela 4 - Associação entre os grupos de espécies formados a partir da análise de agrupamento de acordo com os níveis de tolerância ao alagamento e as características morfológicas observadas em cada grupo para os tratamentos. T1 – lâmina d'água de 8 cm (hipoxia); T2 – lâmina d'água de 16 cm, na altura do colo da planta (anoxia); T3 – lâmina d'água de 18 cm, 2 cm de lâmina d'água acima do colo da muda (anoxia). RA % (ocorr) taxa de ocorrência de raízes adventícias; HL % (ocorr): taxa de ocorrência de hipertrofia de lenticelas; RA % (tempo): taxa de tempo de ocorrência de raízes adventícias e HL % (tempo): taxa de tempo de ocorrência de hipertrofia de lenticelas. Nessas taxas, valores iguais a 100 indicam comportamento similar ao da média de todas as espécies. Nas taxas de ocorrência, valores abaixo de 100 indicam que a estrutura ocorre num subgrupo de espécies, em quantidades inferiores à média de todas as espécies enquanto que valores maiores indicam maior ocorrência das estruturas morfológicas nesse subgrupo específico, do que na média de todas as espécies. Em relação às taxas de tempo, o valor de 100 indica velocidade de ocorrência média para todas as espécies enquanto que valores inferiores indicam que as estruturas surgiram mais rapidamente num subgrupo, e valores superiores indicam que a estrutura surgiu em tempo superior à média de todas as espécies daquele grupo. Os valores abaixo são as médias dos grupos obtidas a partir da relação por indivíduo de cada espécie entre a variável de um tratamento (com lâmina de água) e o tratamento sem lâmina de água, calculados em porcentagem.

(continua)

Grupos segundo níveis de tolerância ao alagamento por tratamento		RA % (ocorr)	HL % (ocorr)	RA % (tempo)	HL % (tempo)
T1	Tolerância muito alta 1. <i>Croton urucurana</i> , <i>Cedrela odorata</i> , <i>Ficus insipida</i> , <i>Magnolia ovata</i>	44,44	103,23	24,10	83,18
	Tolerância muito alta 2. <i>Cecropia pachystachya</i>	88,89	103,23	481,93	178,49
	Tolerância alta 1. <i>Calophyllum brasiliense</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Tapirira guianensis</i>	177,78	120,43	144,58	196,34
	Tolerância alta 2. <i>Alchornea glandulosa</i> , <i>Dendropanax cuneatus</i> , <i>Inga marginata</i> , <i>Myrsine umbellata</i>	88,89	180,65	108,43	124,94
	Tolerância baixa 1. <i>Handroanthus umbellatus</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
	Tolerância baixa 2. <i>Miconia chamissois</i>	444,44	0,00	154,22	0,00
T2	Tolerância muito alta. <i>Croton urucurana</i> , <i>Cedrela odorata</i> , <i>Miconia chamissois</i>	96,97	86,02	38,27	144,86
	Tolerância alta. <i>Calophyllum brasiliense</i> , <i>Cecropia pachystachya</i> , <i>Ficus insipida</i> , <i>Inga marginata</i> , <i>Magnolia ovata</i> , <i>Tapirira guianensis</i>	177,78	129,03	126,30	108,64
	Tolerância média. <i>Alchornea glandulosa</i> , <i>Dendropanax cuneatus</i>	72,73	129,03	134,05	108,64
	Tolerância baixa. <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Handroanthus umbellatus</i>	48,49	129,03	229,64	98,77
	Tolerância muito baixa. <i>Myrsine umbellata</i>	0,00	51,61	0,00	98,77

Tabela 4 - Associação entre os grupos de espécies formados a partir da análise de agrupamento de acordo com os níveis de tolerância ao alagamento e as características morfológicas observadas em cada grupo para os tratamentos. T1 – lâmina d'água de 8 cm (hipoxia); T2 – lâmina d'água de 16 cm, na altura do colo da planta (anoxia); T3 – lâmina d'água de 18 cm, 2 cm de lâmina d'água acima do colo da muda (anoxia). RA % (ocorr) taxa de ocorrência de raízes adventícias; HL % (ocorr): taxa de ocorrência de hipertrofia de lenticelas; RA % (tempo): taxa de tempo de ocorrência de raízes adventícias e HL % (tempo): taxa de tempo de ocorrência de hipertrofia de lenticelas. Nessas taxas, valores iguais a 100 indicam comportamento similar ao da média de todas as espécies. Nas taxas de ocorrência, valores abaixo de 100 indicam que a estrutura ocorre num subgrupo de espécies, em quantidades inferiores à média de todas as espécies enquanto que valores maiores indicam maior ocorrência das estruturas morfológicas nesse subgrupo específico, do que na média de todas as espécies. Em relação às taxas de tempo, o valor de 100 indica velocidade de ocorrência média para todas as espécies enquanto que valores inferiores indicam que as estruturas surgiram mais rapidamente num subgrupo, e valores superiores indicam que a estrutura surgiu em tempo superior à média de todas as espécies daquele grupo. Os valores abaixo são as médias dos grupos obtidas a partir da relação por indivíduo de cada espécie entre a variável de um tratamento (com lâmina de água) e o tratamento sem lâmina de água, calculados em porcentagem.

		(conclusão)			
Grupos segundo níveis de tolerância ao alagamento por tratamento		RA % (ocorr)	HL % (ocorr)	RA % (tempo)	HL % (tempo)
	Tolerância muito alta. <i>Croton urucurana</i>	126,32	140,35	85,19	0,00
	Tolerância alta. <i>Alchornea glandulosa</i> , <i>Calophyllum brasiliense</i> , <i>Inga marginata</i> , <i>Magnolia ovata</i>	115,79	133,33	78,52	6,45
T3	Tolerância média. <i>Cecropia pachystachya</i> , <i>Tapirira guianensis</i>	168,42	140,35	108,41	45,16
	Tolerância baixa 1. <i>Cedrela odorata</i> , <i>Miconia chamissois</i>	105,26	70,18	150,82	135,48
	Tolerância baixa 2. <i>Ficus insipida</i>	42,11	140,35	146,25	206,45
	Tolerância muito baixa. <i>Dendropanax cuneatus</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Handroanthus umbellatus</i> , <i>Myrsine umbellata</i>	84,21	91,23	111,15	235,48

3.3 Espécies potenciais para projetos de restauração

A profundidade do lençol freático de cada experimento em campo obtida a partir da leitura dos piezômetros permitiu identificar que em Artemis a saturação hídrica de solo tem

duração e nível do lençol freático maiores do que na ESALQ/USP (Figuras 4 e 5). Para este estudo, foi determinado que, até 30 cm de profundidade em relação à superfície do solo é a altura de lençol freático que exerce influencia sobre o crescimento e sobrevivência inicial das mudas em relação às raízes. Assim, dos 255 dias monitorados, Artemis esteve em média 141 dias com uma profundidade de lençol freático de até 30cm, enquanto na ESALQ/USP esta duração foi de aproximadamente 62 dias. Esta média foi calculada a partir dos resultados observados nos piezômetros para cada tratamento dentro de cada bloco. A Figura 5 mostra a variação do lençol freático na ESALQ/USP e em Artemis para o período de 9 meses (agosto de 2012 a abril de 2013), indicando que o lençol freático em Artemis esteve mais próximo à superfície em relação à ESALQ/USP, e que portanto o encharcamento daquela área é maior e mais prolongado.

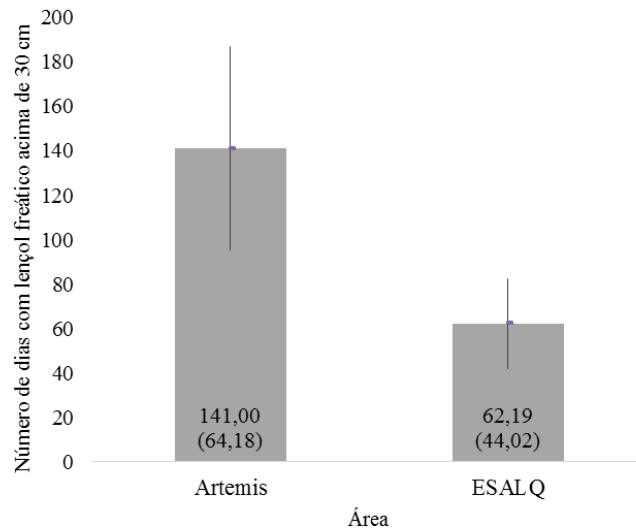


Figura 4 - Média dos dias em que o lençol freático esteve até 30cm de profundidade em relação à superfície do solo para os experimentos em campo da ESALQ/USP e de Artemis . Médias obtidas a partir dos resultados observados nos 4 piezômetros instalados em Artemis e nos 11 piezômetros instalados na ESALQ/USP e extrapolados para cada tratamento dentro de cada bloco.

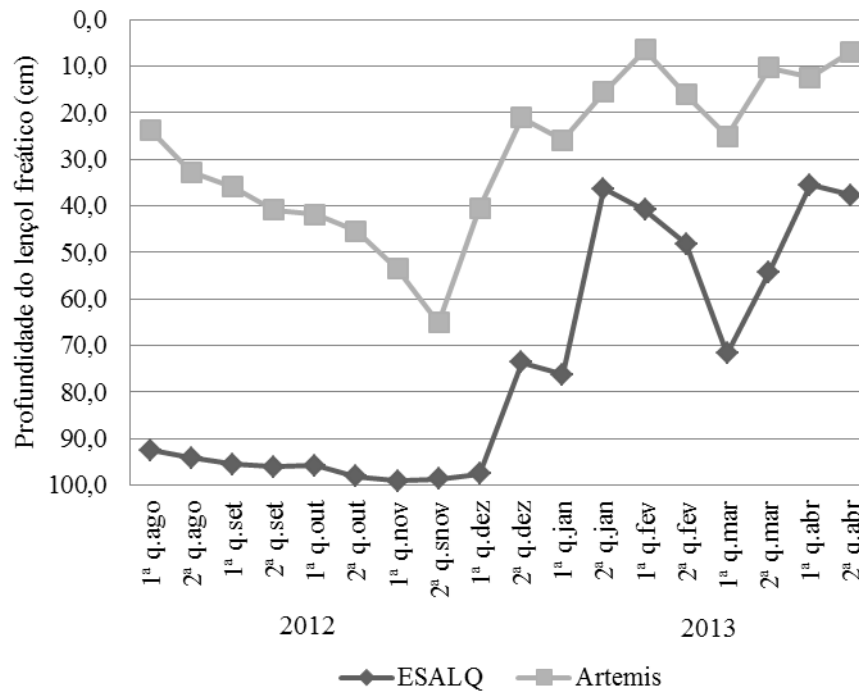


Figura 5 - Variação da profundidade do lençol freático para os experimentos em campo da ESALQ/USP e de Artemis. Médias quinzenais obtidas a partir da leitura dos dias dos 11 piezômetros instalados no experimento em campo da ESALQ/USP e dos 4 piezômetros instalados no experimento em campo de Artemis

Nos experimentos em campo, observou-se que algumas espécies arbóreas apresentaram sobrevivência e crescimento elevados, as quais tem potencial de serem utilizadas para acelerar o restabelecimento de uma fisionomia florestal na restauração de florestas paludosas (Tabela 5). Como esperado, as espécies incluídas no grupo de tolerância alta a muito alta são pioneiras típicas de áreas úmidas, como *Croton urucurana* e *Inga marginata*. No entanto, algumas espécies pioneiras como *Guazuma ulmifolia*, que se desenvolveram bem no plantio da ESALQ/USP, mas foram identificadas no experimento em viveiro como sendo pouco tolerantes ao alagamento, apresentaram sobrevivência e crescimento prejudicados no plantio de Artemis. Em Artemis, onde o solo é mais encharcado, houve uma maior diferenciação de desempenho entre as espécies, uma vez que os grupos formados foram constituídos em muitos casos por uma única espécie (Tabela 5). De fato, o crescimento das mudas foi muito inferior em Artemis em comparação com a ESALQ/USP, mesmo para as espécies mais tolerantes. Outro grupo foi constituído, no geral, por espécies que apresentaram elevada sobrevivência, mas crescimento lento, sendo composto principalmente por espécies iniciais da sucessão florestal menos tolerantes ao encharcamento, conforme evidenciado no experimento em viveiro, e por espécies mais tardias, que

apresentam crescimento lento. Os dendogramas da análise de agrupamento dos experimentos em campo podem ser observados no ANEXO C.

Tabela 5 - Médias dos grupos criados pela análise de agrupamento das espécies nos experimentos de campo da ESALQ/USP e distrito de Artemis. ts: tempo de sobrevivência, tx altura: taxa de crescimento relativo em altura, tx diâmetro: taxa de crescimento relativo em diâmetro. Os valores abaixo são as médias dos grupos obtidas a partir da relação por indivíduo de cada espécie entre a variável de um tratamento (com lâmina de água) e o tratamento sem lâmina de água, calculados em porcentagem.

Cluster	ts (%)	tx	tx	
		altura (%)	diâmetro (%)	
<i>Croton urucurana</i>	11,881	18,742	3,517	
<i>Guazuma ulmifolia, Ingamarginata</i>	11,857 (±0,034)	10,449 (±1,673)	1,907 (±0,013)	
ESALQ/ USP	<i>Myrsine umbellata, Tapirira guianensis, Cecropia pachystachya, Dendropanax cuneatus, Alchornea glandulosa, Handroanthus umbellatus, Cedrela odorata, Citharexylum myrianthum</i>	11,324 (±0,395)	4,204 (±1,143)	1,114 (±0,372)
	<i>Calophyllum brasiliense, Magnolia ovata, Ficus insipida, Piper aduncum, Miconia chamissois</i>	9,390 (±1,262)	1,264 (±1,046)	0,772 (±0,481)
	<i>Inga marginata</i>	10,000	9,771	2,174
	<i>Croton urucurana</i>	12,000	3,922	1,102
Distrito de Artemis	<i>Handroanthus umbellatus</i>	11,800	1,664	0,614
	<i>Ficus insipida, Miconia chamissois, Cecropia pachystachya, Citharexylum myrianthum</i>	11,950 (±0,100)	-0,155 (±0,617)	0,488 (±0,223)
	<i>Myrsine umbellata, Tapirira guianensis, Alchornea glandulosa, Cedrela odorata, Calophyllum brasiliense, Magnolia ovata, Guazuma ulmifolia</i>	10,400 (±0,653)	-0,174 (±0,193)	0,238 (±0,141)
	<i>Dendropanax cuneatus</i>	8,600	0,157	0,138
	<i>Euterpe edulis</i>	3,800	-0,094	0,323

3.4 Avaliação dos métodos de preparo de solo

Em nível de comunidade, o único efeito observado do preparo do solo no estabelecimento das mudas foi na ESALQ/USP e em relação ao tempo de sobrevivência ($p = 0,0050$ para ESALQ/USP, $p = 0,8784$ para Artemis), que foi menor no plantio em montículo

(Montículo = $4,4281 \pm 0,38$; Sulcos = $5,1509 \pm 0,29$; Convencional = $4,8853 \pm 0,26$). Já o crescimento em altura ($p = 0,0689$ para ESALQ/USP, $p = 0,4988$ para Artemis) e em diâmetro ($p = 0,2453$ para ESALQ/USP, $p = 0,4885$ para Artemis) das mudas não foi afetado. Em nível de espécie (interação entre espécie e tratamento), o tempo de sobrevivência das mudas foi o único efeito observado do preparo do solo no estabelecimento das mudas na ESALQ/USP ($p = 0,0017$), que foi menor no plantio em montículo para quatro espécies (Tabela 6, ANEXO D). Em Artemis, o plantio de mudas em montículos também influenciou o tempo de sobrevivência, aumentando ou reduzindo a sobrevivência de cinco das 16 espécies testadas na interação entre espécie e tratamento (Tabela 6). O crescimento de cada espécie em altura e diâmetro não diferiu entre os tratamentos em Artemis (ANEXO D). Já na ESALQ/USP o crescimento em altura e diâmetro foi menor no plantio em montículos para o efeito tratamento (Figura 6).

Tabela 6 - Estatísticas do tempo de sobrevivência das espécies que apresentaram diferenças significativas entre os métodos de preparo de solo na experimentação de campo em Artemis e na ESALQ/USP. Letras minúsculas diferentes indicam diferenças ($p < 0,05$) obtidas pelo teste de Tukey para ANOVA. As médias abaixo foram obtidas a partir da relação por indivíduo de cada espécie entre a variável de um tratamento (com lâmina de água) e o tratamento sem lâmina de água, calculados em porcentagem.

Espécie - ESALQ/USP	Método	Método Sulco	Método
	Convencional		Montículo
	Média (+/-)	Média (+/-)	Média (+/-)
<i>Dendropanax cuneatus</i>	10,93 ± 2,06 a	11,50 ± 1,40 a	9,36 ± 1,74 b
<i>Calophyllum brasiliense</i>	10,79 ± 1,31 a	10,36 ± 1,91 a	8,64 ± 1,15 b
<i>Magnolia ovata</i>	10,79 ± 1,31 a	10,57 ± 1,34 a	8,79 ± 1,37 b
<i>Ficus insipida</i>	10,07 ± 2,53 b	12,00 ± 0,00 a	10,43 ± 1,99 b
Espécie - Artemis	Método	Método Sulco	Método
	Convencional		Montículo
	Média (+/-)	Média (+/-)	Média (+/-)
<i>Calophyllum brasiliense</i>	12,00 ± 0,00 a	8,00 ± 4,38 b	-
<i>Magnolia ovata</i>	12,00 ± 0,00 a	7,60 ± 4,10 b	-
<i>Guazuma ulmifolia</i>	8,00 ± 5,48 b	12,00 ± 0,00 a	-
<i>Inga marginata</i>	8,00 ± 5,48 b	12,00 ± 0,00 a	-
<i>Myrsine umbellata</i>	7,20 ± 3,03 b	12,00 ± 0,00 a	-

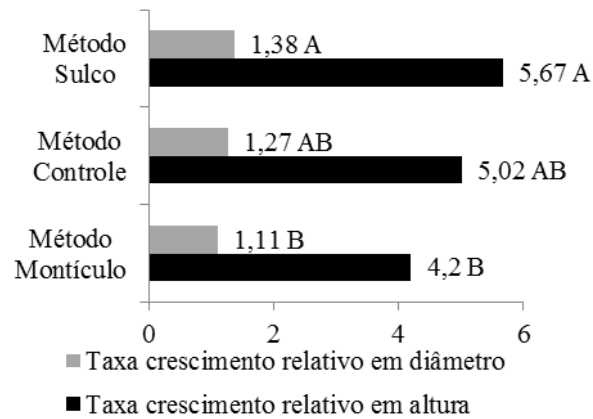


Figura 6 - Médias dos métodos de preparo de solo testados no experimento da ESALQ/USP. Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças ($p < 0,05$) nas colunas obtidas pelo teste de Tukey para ANOVA. As médias acima foram obtidas a partir da relação por indivíduo de cada espécie entre a variável de um tratamento (com lâmina de água) e o tratamento sem lâmina de água, calculados em porcentagem.

Para as duas áreas, tanto a profundidade do lençol freático como o tempo de saturação hídrica do solo não estiveram correlacionados com a sobrevivência e crescimento das mudas de nenhuma espécie analisada individualmente (ANEXO E).

3 DISCUSSÃO

O conhecimento aproximado da dinâmica do lençol freático e do comportamento da espécie em cada nível de saturação hídrica do solo, satisfatoriamente avaliado por meio do método desenvolvido em viveiro, mostrou-se determinante para a predição do desempenho das espécies testadas nos plantios de restauração, ao passo que os métodos alternativos testados de preparo do solo não foram efetivos para diminuir o efeito do alagamento do solo.

Nas espécies testadas em viveiro, como esperado, quanto maior a altura da lâmina d'água no substrato que simulou a elevação de um lençol freático, menores foram as taxas de sobrevivência e crescimento. Essa constatação em viveiro condiz com o que Zamith e Scarano (2010) identificaram em campo em um plantio de restauração florestal realizado em uma floresta de restinga no Brasil, no qual a mortalidade de mudas foi maior em uma área tipicamente alagada, onde o lençol freático atingiu os níveis mais elevados. Também em outros locais do mundo, o aumento da altura do lençol freático e da duração do alagamento tem se mostrado prejudicial ao crescimento inicial das plantas (CONNER; McLEOD; McCARRON, 1997). Esta redução no crescimento da maioria das plantas terrestres submetidas ao alagamento é largamente atribuída à deficiência de oxigênio no solo, que danifica as raízes prejudicando o metabolismo pela inibição da respiração celular e impedimento da absorção de água e nutrientes (TAIZ; ZEIGER, 2013; OLIVEIRA; JOLY, 2010; PIMENTA; BIANCHINI; MEDRI, 1998, ALAOU-SOSSÉ et al., 2005).

No entanto, certamente há uma tolerância diferenciada ao encharcamento do solo entre as espécies arbóreas e arbustivas nativas, sendo a identificação dos grupos de espécies mais e menos tolerantes uma etapa essencial, embora pouco conhecida, para a restauração florestal de florestas paludosas. Considera-se que o método desenvolvido para classificar em viveiro as espécies em relação à tolerância ao alagamento permanente de solo foi bem sucedido, permitindo claramente agrupar espécies com diferentes comportamentos. A classificação funcional das espécies em função desse comportamento ecofisiológico tende, assim, a aumentar o sucesso da restauração por permitir a indicação de espécies mais apropriadas para o plantio em diferentes condições de saturação hídrica no solo, as quais são bastante variáveis em campo em função das variações de micro relevo e de altura do lençol freático. Tais diferenças funcionais parecem estar associadas à capacidade das espécies em produzir estruturas morfo-anatômicas assessorias à absorção e difusão de oxigênio para as raízes em condição de anaerobiose.

No experimento em viveiro, plantas sob condições de normoxia (controle) não desenvolveram estruturas morfológicas, assim como ocorrido no estudo de Ferreira et al., 2009. Já a saturação hídrica induziu a ocorrência de algumas características morfológicas que aumentam a capacidade de difusão de oxigênio da parte aérea para o sistema radicular, cuja ocorrência esteve relacionada à altura da lâmina d'água. Em condições de hipoxia, a hipertrofia de lenticelas foi a resposta mais eficiente observada nas espécies para aumentar o crescimento e sobrevivência. Acredita-se que nessa condição o sistema radicular original conseguiu suprir adequadamente as demandas da planta, já que ainda existiam poros de ar no solo não ocupados pela água. Nessa condição, a hipertrofia de lenticelas favorece a entrada de oxigênio na base do caule, que se difunde passivamente até atingir as raízes, onde a demanda metabólica é alta (LOBO; JOLY, 2009).

Em condições de anoxia, o tempo de produção das estruturas (raízes adventícias e hipertrofia de lenticelas) foi o mecanismo mais associado à tolerância à saturação hídrica quanto à sobrevivência e crescimento inicial. Nessa condição, todo o espaço poroso do solo passou a ser preenchido por água, assim, possivelmente, o tempo para o desenvolvimento de raízes adventícias, que se formam próximo à superfície, fez a diferença na manutenção da respiração e crescimento das raízes. O sistema radicular original nesta situação assume uma função de fixação do indivíduo no solo, reduzindo drasticamente suas atividades metabólicas e conseqüentemente seu crescimento. O tempo para a hipertrofia de lenticelas complementa a função das raízes adventícias, sendo que espécies que desenvolveram os dois mecanismos tiveram maior tolerância ao estresse, tal como observado por Glenz et al. (2006). Corroborando essas observações, *Piper aduncum* - que foi uma espécie escolhida equivocadamente por não ser típica de áreas alagadas - não desenvolveu nenhuma das estruturas morfológicas acima mencionadas e todos os indivíduos morreram ao serem submetidos aos níveis de alagamento testados. Isto constata que o diagnóstico ou uso de uma espécie errada na restauração de florestas paludosas pode causar grandes impactos e perdas, e que o uso de espécies encontradas em um ecossistema de referência, para o caso da restauração de florestas paludosas, nem sempre será garantido, pois várias espécies arbóreas e arbustivas típicas testadas neste experimento demonstraram níveis de tolerância ao efeito da saturação hídrica de solo.

O agrupamento das espécies em função da tolerância ao alagamento, conforme método acima descrito permite selecionar as espécies cuja introdução inicial na área a ser restaurada deve ser favorecida para promover a melhoria das condições de micro sítio para a regeneração posterior de outras espécies menos tolerantes, desencadeando o processo de

sucessão secundária. Como áreas hidrologicamente sensíveis degradadas tendem a apresentar profundas alterações na dinâmica superficial da água, o uso adensado de espécies com boas taxas de sobrevivência e crescimento inicial tende a favorecer a estruturação de uma fisionomia florestal, que por sua vez pode contribuir para gradualmente restabelecer o escoamento da água acumulada no solo em pequenos canais superficiais, tal como observado em florestas paludosas melhor conservadas (SIMMONS; BEN WU; WHISENANT, 2012).

Nesse contexto, as espécies com maior sobrevivência e crescimento inicial em condições de solo encharcado podem atuar na sucessão ecológica de florestas paludosas como plantas facilitadoras (PADILLA; PUGNAIRE, 2006) e, no contexto da restauração desse ecossistema, como espécies “framework” (WYDHAYAGARN; ELLIOTT; WANGPAKAPATTANAWONG, 2009; BLAKESLEY; HARDWICK; ELLIOTT, 2002). Confirmando essa proposta, as espécies que apresentaram os melhores indicadores de sobrevivência e crescimento relativo nas condições de alagamento testadas em viveiro e em campo foram pioneiras, conforme também observado por Simmons, Ben Wu & Whisenant (2012). Já espécies com tolerância média a baixa podem ser utilizadas em ambientes menos alagados já na implantação do projeto ou numa etapa posterior da restauração na forma de plantios de enriquecimento, quando as espécies mais tolerantes inicialmente introduzidas já tiverem modificado fisicamente o micro sítio, alterando o microclima, propiciando a formação de serapilheira, estabilizando o solo com a fixação de raízes, melhorando o micro relevo e amenizando o estresse resultante do acúmulo de água no solo. Estas modificações no solo, por parte de espécies arbóreas pioneiras, atuando como engenheiras do ecossistema, poderiam criar um ambiente favorável para a sucessão florestal, regulando os processos ecológicos e facilitando a colonização da área.

Em florestas com solos melhor drenados, a sucessão é regulada pela mudança dos regimes de luz promovidos pela sucessão florestal, onde as espécies pioneiras desencadeiam a sucessão em função do sombreamento da área. Já em solos hidromórficos vegetados por florestas paludosas, a facilitação da sucessão deve ser mais influenciada pela alteração do regime hídrico do solo, em que as espécies pioneiras aumentam a evapotranspiração do sistema e reduzem o encharcamento das camadas superficiais do solo, permitindo o estabelecimento de espécies menos tolerantes. Assim, espécies pioneiras tolerantes ao encharcamento podem atuar como plantas facilitadoras, criando um micro-sítio seguro para o recrutamento de outras espécies, que devem ser introduzidas após essa modificação do ambiente promovida pelas pioneiras. Caso contrário, elas morreriam. Isso constitui uma importante diferença em relação ao sistema tradicional de plantios de restauração florestal

adotados na Mata Atlântica, que se valem da implantação de uma alta diversidade de espécies já nas fases iniciais do projeto. Por mais que sejam plantadas espécies com diferentes níveis de tolerância ao sombreamento, a maior parte das espécies consegue se desenvolver a pleno sol no início do plantio (RODRIGUES et al., 2009). No entanto, em situações de solos hidromórficos, tais plantios de alta diversidade não parecem possíveis, dadas as restrições mais severas ao estabelecimento de espécies menos tolerantes às condições adversas de encharcamento do solo típicas de áreas degradadas ocupadas anteriormente por florestas paludosas.

Nesse contexto, o momento da introdução das espécies em projetos de restauração deve ser muito preciso para evitar grandes perdas. Por isso a importância de conhecer o comportamento das espécies em distintas condições de saturação hídrica, fator que foi possível identificar nos métodos testados neste estudo. Nos dois experimentos de campo, o uso orientado de espécies em função da tolerância ao encharcamento foi mais determinante para o sucesso da restauração do que a adoção de metodologias diferenciadas de preparo do solo, as quais foram pouco efetivas para aumentar a sobrevivência e crescimento das mudas.

O plantio em montículos foi o único método de preparo de solo que influenciou em alguns casos o desempenho das mudas durante os 12 meses de experimentação. Em ambos os experimentos de campo, as espécies *Calophyllum brasiliense* e *Magnolia ovata* foram prejudicadas pelo plantio em montículos e na ESALQ/USP o crescimento em altura de todas as espécies foi reduzido quando as mudas foram implantadas por esse método. Internacionalmente, não foram encontrados trabalhos que testassem os métodos de preparo de solo implantados neste estudo. Foi encontrado apenas um trabalho no Brasil (MARCONATO, 2010), que testou o plantio em montículos e o método convencional, e constatou que o crescimento das mudas não diferiu em função do método de plantio após 12 meses de implantação. O efeito negativo do plantio em pequenos montículos observado no presente estudo parece estar associado ao fato do torrão da muda ter ficado exposto, tornando-a instável e provocando o tombamento de várias mudas, uma vez que parte dos montículos foi erodida com as chuvas, removendo a camada de solo que protege este torrão. Já o método de abertura de pequenos sulcos não interferiu no desempenho das mudas, provavelmente por não ter sido eficiente para diminuir a saturação hídrica de solo na zona de desenvolvimento do sistema radicular, em função desses sulcos terem dimensões reduzidas.

Talvez métodos de engenharia de solos mais drásticos pudessem favorecer o desenvolvimento das mudas em função da drenagem mais eficiente da água acumulada no solo, tal como adotado largamente no mundo para converter zonas úmidas naturais em terras

agricultáveis. No entanto, essas tecnologias implicariam em impactos drásticos no sistema, causando alterações profundas no lençol freático, solo, micro-organismos e, de forma mais acentuada, poderiam resultar no assoreamento dos cursos d'água à jusante em função da grande movimentação de terra. Sendo assim, em situações de AHS antropizadas e degradadas, o uso de métodos que demandam altos investimentos em energia, recursos humanos e maquinários provavelmente não se justificam tanto ecologicamente como financeiramente. Nesses casos, o uso orientado das espécies nativas em função de suas características funcionais relacionadas à tolerância ao alagamento parece ser o caminho mais indicado para promover a restauração dessas áreas tão importantes para a geração de serviços ecossistêmicos.

Conforme observado nas duas áreas experimentais, mas principalmente em Artemis, onde o tempo de permanência da água no solo é maior, mesmo as espécies mais tolerantes apresentaram crescimento muito reduzido. Isso se deve provavelmente à drástica degradação do solo, que alterou profundamente a dinâmica superficial da água e hoje restringe a recolonização de espécies lenhosas nativas, mantendo a área dominada por espécies herbáceas, cujo sistema radicular é mais superficial. Conforme observado por Hobbs et al. (2009), mudanças históricas intensas na composição biótica e condições abióticas dos ecossistemas degradados pelo homem podem resultar em alterações irreversíveis em sua estrutura, composição e funcionamento, dando origem aos chamados neoecossistemas. No entanto, é impossível prever hoje se a degradação de florestas paludosas é de fato irreversível e dará origem a neoecossistemas, dominados por espécies herbáceas ruderais, ou se simplesmente a restauração dessas áreas é um processo naturalmente lento, conforme indicado por estudos de dinâmica em áreas naturais de florestas paludosas no Brasil (CARBONI, 2011).

No entanto, independentemente do futuro das florestas paludosas em recuperação - se serão restabelecidas condições ecológicas similares aos ecossistemas de referência ou se as áreas formarão neoecossistemas -, é fundamental que se invista hoje no restabelecimento de funções ecológicas dessas áreas que resultem na provisão de serviços ecossistêmicos para a sociedade, com destaque para os serviços de regulação de processos hidrológicos. Nesse sentido, ecólogos da restauração têm proposto uma visão mais utilitarista da restauração ecológica, focada na geração de serviços ecossistêmicos, como forma de ampliar a escala e a efetividade dos projetos (PALMER; FILOSO, 2009). Nesse contexto, a classificação de espécies nativas em função da tolerância ao alagamento, associada à compreensão dos processos ecofisiológicos determinantes dessa tolerância, apresenta-se como uma das

principais lacunas para aumentar as chances de sucesso dos projetos restauração de florestas paludosas. Espera-se dessa forma que o conjunto de métodos, experimentos e procedimentos de análise de dados utilizados no presente trabalho possam ser úteis para aperfeiçoar a seleção de espécies para a restauração de florestas brejosas em outras regiões.

4 CONCLUSÃO

A aplicação de métodos de preparo de solo específicos não é um fator determinante para o estabelecimento e o desenvolvimento inicial de espécies arbustivas ou arbóreas típicas de AHS florestais para pequenas escalas. Contudo, conhecer aproximadamente a dinâmica do lençol freático e o comportamento das espécies em diferentes níveis de saturação hídrica é decisivo na indicação das espécies a serem usadas em áreas alagadas degradadas. A escolha adequada das espécies mais tolerantes torna-se decisiva para a restauração ecológica destes ambientes. As espécies pioneiras e de crescimento rápido poderão atuar como facilitadoras da sucessão florestal, e este fator é o que diferencia a restauração das florestas paludosas e áreas úmidas de outros tipos de florestas.

REFERÊNCIAS

- AGNEW, L.J.; LYON, S.; GÉRARD-MARCHANT, P.; COLLINS, V.B.; LEMBO, A.J.; STEENHUIS, T. S.; WALTER, M. T. Identifying hidrologically sensitive areas: bridging the gap between science and application. **Journal of Environmental Management**, London, v. 78, n. 1, p. 63–76, 2006.
- ALAOUI-SOSSÉ, B.; GÉRARD, B.; BINET, P.; TOUSSAINT, M-L.; BADOT, P-M. Influence of flooding on growth, nitrogen availability in soil, and nitrate reduction of young oak seedlings (*Quercus robur* L.). **Annals of Forest Science**, Les Ulis, Franca v. 62, n. 6, p. 593-600, 2005.
- BAATTRUP-PEDERSEN, A.; DALKVIST, D.; DYBKJAER, J.B.; RIIS, T.; LARSEN, S.E.; KRONVANG, B. Species Recruitment following flooding, sediment deposition and seed addition in restored riparian areas. **Restoration Ecology**, Malden, v. 21, n. 3, p. 399-408, 2013.
- BLAKESLEY, D.; HARDWICK, K.; ELLIOTT, S. Research needs for restoring tropical forests in Southeast Asia for wildlife conservation: framework species selection and seed propagation. **New Forests**, Dordrecht, v. 24, n. 3, p. 165-174, 2002.
- BRANCALION, P.H.S.; CARDOZO, I.V.; CAMATTA, A.; ARONSON, J.; RODRIGUES, R.R. Cultural ecosystem services and popular perceptions of the benefits of an ecological restoration project in the Brazilian Atlantic Forest. **Restoration Ecology**, Malden, v. 22, n. 1, p. 65-71, 2013.
- BRULAND, G.L.; RICHARDSON, C.J. Hydrologic, edaphic, and vegetative responses to microtopographic reestablishment in a restored wetland. **Restoration Ecology**, Malden, v. 13, n. 3, p. 515-523, 2005.
- 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.
- CARBONI, M. **Dinâmica estrutural e reprodutiva da vegetação lenhosa de uma floresta paludosa em Bauru/SP**. 2011. 157 p. Tese (Doutorado em Conservação de Ecossistemas Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.
- CASSOLA, R. Implementation of payment for ecosystem services schemes by local governments: the water conservation project of Extrema/Minas Gerais, Brazil. **The Economics of Ecossistems and Biodiversity (TEEB)**, Genebra, v. 1.1, 2010.
- 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-municipiospaulistas.html>>. Acesso em: 17 jul. 2013.

CONNER, W.H.; McLEOD, K.W.; McCARRON, J.K. Flooding and salinity effects on growth and survival of four common forested wetland species. **Wetlands Ecology and Management**, Dordrecht, v. 5, n. 2, p. 99-109, 1997.

FAO. Natural Resources Management and Environment. Department Land and Water Division. **Payment for environmental services: first global inventory of schemes provisioning water for cities**. Rome, 2011. 143 p.

FERREIRA, C.S.; PIEDADE, M.T.F.; FRANCO, A.C.; GONÇALVES, J. F.C.; JUNK, W.J. Adaptive strategies to tolerate prolonged flooding in seedlings of floodplain and upland populations of *Himatanthus siccuba*, a Central Amazon tree, **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 90, n. 3, p. 246-252, 2009.

GLAESER, J. WULF, M. Effects of water regime and habitat continuity on the plant species composition of floodplain forests. **Journal of Vegetation Science**, Knivsta, v. 20, n. 1, p. 37-48, 2009.

GLENZ, C.; SCHLAEPFER, R.; IORGULESCU, I.; KIENAST, F. Flooding tolerance of Central European tree and shrub species. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 235, n. 1/3, p. 1-13, 2006.

GORSEVSKI, P.V.; BOLL, J. GOMEZDEL CAMPO, E. BROOKS, E.S. Dynamic riparian buffer widths from potential non-point source pollution areas in forest watersheds. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 256, n. 4, p. 664-673, 2008.

GUEDES, F.B.; SEEHUSEN, S.E. (Ed.). **Pagamento por serviços ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios**. Brasília: MMA, 2011. 280 p.

HOBBS, R.J.; HIGGS, E.; HARRIS, J. Novel ecosystems: implications for conservation and restoration. **Trends in Ecology and Evolution**, Amsterdam, v. 24, n. 11, p. 599-605, 2009.

IVANAUSKAS, N.M.; RODRIGUES, R.R.; NAVE, A.G. Aspectos ecológicos de uma mata de brejo em Itatinga, SP: florística, fitossociologia e seletividade de espécies. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 139-153, 1997.

KOLB, R.M.; JOLY, C.A. Flooding tolerance of *Tabebuia cassinoides*: metabolic, morphological and growth responses. **Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, Kusterdingen, v. 204, n. 7, p. 528-535, 2009.

KOLOWSKI, T.T. Physiological-ecological impacts of flooding on riparian forest ecosystems. **Wetlands**, Madison, v. 22, n. 3, p. 550-561, 2002.

KOLOWSKI, T.T.; PALLARDY, S.G. **Physiology of woody plants**. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 1997. 411 p.

KUMAR, S.; ANDERSON, S.H.; UDAWATTA, R.P.; GANTZER, C.J. CT-measured macropores as affected by agroforestry and grass buffers for grazed pasture systems. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 79, p. 59-65, 2010.

- LEITÃO FILHO, H.F. Aspectos taxonômicos das florestas do Estado de São Paulo. *Silvicultura em São Paulo*. In CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSENCIAS NATIVAS, 1982, São Paulo. **Aspectos taxonômicos das florestas do Estado de São Paulo. Silvicultura em São Paulo**. Campos do Jordão: Instituto Florestal, v. 16A, n. 1. p. 197-206, 1982.
- LOBO, P.C.; JOLY, C.A. Aspectos ecofisiológicos da vegetação de mata ciliar do sudeste do Brasil. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO-FILHO, H.F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP; FAPESP, 2009. p. 143-157.
- MARCONATO, M.G. **Avaliação de quatro métodos de restauração florestal de áreas úmidas no município de Mineiros do Tietê-SP**. 2010. 129 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu. 2010.
- MCBRIDE, M.; HESSION, W.C.; RIZZO, D.M. Riparian reforestation and channel change: a case study of two small tributaries to Sleepers River, northeastern Vermont, USA. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 102, n. 3, p. 445-459, 2008.
- MEDINA, C.L.; SANCHES, M.C.; TUCCI, M.L.; SOUSA, C.A.F.; CUZZUOL, G.R.F.; JOLY, C.A. *Erythrina speciosa* (Leguminosae-Papilionoideae) under soil water saturation: morphophysiological and growth responses. **Annals of Botany**, London, v. 104, n. 4, p. 671-680, 2009.
- MEYFROIDT, P.; LAMBIN, E.F. Global forest transition: prospects for an end to deforestation. **Annual Review of Environment and Resources**, Palo Alto, v. 36, p. 343-371, 2011.
- OLIVEIRA, V.C. de; JOLY, C.A. Flooding tolerance of *Calophyllum brasiliense* Camb. (Clusiaceae): morphological, physiological and growth responses. **Trees**, Santa Monica, v. 24, n. 1, p. 185-193, 2010.
- PADILLA, F.M.; PUGNAIRE, F.I. The role of nurse plants in the restoration of degraded environments. **Frontiers in Ecology and Environment**, Washington, v. 4, n. 4, p. 196-202, 2006.
- PALMER, M.A.; FILOSO, S. Restoration of ecosystem services for environmental markets. **Science**, Washington, v. 325, n. 5949, p. 575-576, 2009.
- PAROLIN, P.; WITTMANN, F. Struggle in the flood: tree responses to flooding stress in four tropical floodplain systems. **AoB PLANTS**, Oxford University Press, Oxford, v. 2010, 2010.
- PIMENTA, J.A.; BIANCHINI, E.; MEDRI, M.E. Adaptations to flooding by tropical trees: morphological and anatomical modifications. **Oecologia Australis**, Rio de Janeiro, v. 4, p. 157-176, 1998.
- RODRIGUES, R.R. **A vegetação de Piracicaba e municípios do entorno**. Piracicaba: IPEF, 1999. 17 p. (Circular Técnica IPEF, 189).

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**, Inglaterra, v. 142, p. 1242-1255, 2009.

RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, P.M.; STELLA, J.C.; CAMPELO, F.; FERREIRA, M.T.; ALBUQUERQUE, A. Subsidy or stress? Tree structure and growth in wetland forests along a hydrological gradient in Southern Europe. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n. 10, p. 2015–2025, 2010.

SALEMI, L.F.; GROppo, J.D.; TREVISAN, R.; MORAES, J.M.; LIMA, W. P.; MARTINELLI, L.A. Riparian vegetation and water yield: A synthesis. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 454–455 p. 195–202, 2012.

_____. Aspectos hidrológicos da recuperação florestal de áreas de preservação permanente ao longo dos corpos de água. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 23 n. 1, p. 69-80, 2011.

SIEFERT, C.A.C.; SANTOS, I. dos. Áreas hidrologicamente sensíveis: teoria e aplicação para a bacia do rio Barigui, PR, Brasil. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 5, n. 2, p. 61-76, 2010.

SILVA, A.C.; HIGUCHI, P.; VAN DEN BERG, E. Effects of soil water table regime on tree community species richness and structure of alluvial forest fragments in Southeast Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 70, n. 3, p. 465-471, 2010.

SIMMONS, M.E.; BEN WU, X.; WHISENANT, S.G. Plant and soil responses to created microtopography and soil treatments in bottomland hardwood forest restoration. **Restoration Ecology**, Malden, v. 19, n. 1, p. 136-146, 2009.

_____. Responses of pioneer and later-successional plant assemblages to created microtopographic variation and soil treatments in riparian forest restoration. **Restoration Ecology**, Malden, v. 20, n. 3, p. 369–377, 2012.

STANTON, T.; ECHAVARRIA, M.; HAMILTON, K.; OTT, C. **State of watershed payments: an emerging marketplace**. Washington: Ecosystem Marketplace, 2010. 102 p.

STOLT, M.H.; GENTHNER, M.H.; DANIELS, W.L.; GROOVER, V.A.; NAGLE, S.; HAERING, K.C. Comparison of soil and other environmental conditions in constructed and adjacent palustrine reference wetlands. **Wetlands**, Madison, v. 20, n. 4, p. 671-683, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Respostas e adaptações ao estresse abiótico. In: _____. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. p. 753-780.

TEIXEIRA, A.P.; ASSIS, M.A. Estrutura Diamétrica e Distribuição Espacial de Espécies Arbóreas em uma Mata de Brejo no Município de Rio Claro, SP. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 567-569, 2007.

TEIXEIRA, A.P.; ASSIS, M.A.; LUIZE, B.G. Vegetation and environmental heterogeneity relationships in a Neotropical swamp forest in southeastern Brazil (Itirapina, SP). **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 94, n. 1, p. 17-23, 2011.

- TOMER, M.D.; DOSSKEY, M.G.; BURKART, M.R.; JAMES, D.E.; HELMERS, M.J.; EISENHAUER, D.E. Methods to prioritize placement of riparian buffers for improved water quality. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 75, p. 17-25, 2009.
- TONIATO, M.T.Z.; LEITÃO FILHO, H.F.; RODRIGUES, R.R. Fitossociologia de um remanescente de floresta higrófila (Mata de brejo) em Campinas, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.21, n. 2, p. 197-210, 1998.
- TOURNAIRE-ROUX, C.; SUTKA, M.; JAVOT, H.; GOUT, E.; GERBEAU, P.; LUU, DT.; BLIGNY, R.; MAUREL, C. Cytosolic pH regulates root water transport during anoxic stress through gating of aquaporins. **Nature**, London, v. 425, n. 6956, p. 393-397, 2003.
- TURPIE, J.K.; MARAIS, C.; BLIGNAUT, J.N. The working for water programme: Evolution of a payments for ecosystem services mechanism that addresses both poverty and ecosystem service delivery in South Africa. **Ecological Economics**. Amsterdam, v. 65, n. 4, p. 788-798, 2008.
- WALLS, L.R.; WARDROP, D.H.; BROOKS, P.R. The impact of experimental sedimentation and flooding on the growth and germination of floodplain trees. **Plant Ecology**, Dordrecht, v. 176, n. 2, p. 203-213, 2005.
- WALTER, M.T.; WALTER, M.F.; BROOKS, E.S.; STEENHUIS, T.S.; BOLL, J.; WEILER, K. Hydrologically Sensitive areas: variable source area hydrology implications for water quality risk assessment. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 55, n. 3, p. 277-284, 2000.
- UNGHIRE, J.M.; SUTTON-GRIER, A.E.; FLANAGAN, N.E.; RICHARDSON, C.J. Spatial Impacts of Stream and Wetland Restoration on Riparian Soil Properties in the North Carolina Piedmont, **Restoration Ecology**, Malden, v. 19, n. 6, p. 738–746, 2011.
- UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. The United Nations world water. **Managing water under uncertainty and risk**. Paris: UNESCO. 2012. v. 1, 380 p. (Development Report, 4).
- WYDHAYAGARN, C.; ELLIOTT, S.; WANGPAKAPATTANAWONG, P. Bird communities and seedling recruitment in restoring seasonally dry forest using the framework species method in Northern Thailand. **New Forests**, Dordrecht, v. 38, n. 1, p. 81-97, 2009.
- XIAOLING, L.; NING, L.; JIN, Y.; FUZHOU, Y.; FAJU, C.; FANGQING, C. Morphological and photosynthetic responses of riparian plant *Distylium chinense* seedlings to simulated Autumn and Winter flooding in Three Gorges Reservoir Region of the Yangtze River, China. **Acta Ecologica Sinica**, Beijing, v. 31, n. 1, p. 31–39, 2011.
- ZAMITH, L.R.; SCARANO, F.R. Restoration of a coastal swamp forest in southeast Brazil. **Wetlands Ecology and Management**, Dordrecht, v. 18, n. 4, p. 435-448, 2010.

ANEXOS

ANEXO A – Valores das variáveis utilizadas na construção do dendograma e gráfico da análise de agrupamento no experimento em viveiro do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, Piracicaba,SP, juntamente com o dendograma, análise de componentes principais e médias obtidas para cada grupo resultante da análise de agrupamento no Tratamento T1 (hipoxia, com -8 cm de lâmina d'água), Tratamento T2 (lâmina d'água de 16 cm, na altura do colo da planta - anoxia) e Tratamento T3 (lâmina d'água de 18 cm, 2 cm de lâmina d'água acima do colo da muda - anoxia) T - Tratamento; TS- taxa de sobrevivência; TCA - taxa de crescimento relativo em altura; TCD - Taxa de crescimento relativo em diâmetro e TES- tempo de sobrevivência, Componente principal 1 = taxa de sobrevivência, componente principal 2 = taxa de crescimento relativo em altura .

(continua)

Espécie	T	TS %	TCA %	TCD %	TES %
<i>Alchornea glandulosa</i>	T0	0	0	0	0
<i>Calophyllum brasiliense</i>	T0	0	0	0	0
<i>Cecropia pachystachya</i>	T0	0	0	0	0
<i>Cedrela odorata</i>	T0	0	0	0	0
<i>Citharexylum myrianthum</i>	T0	0	0	0	0
<i>Croton urucurana</i>	T0	0	0	0	0
<i>Dendropanax cuneatus</i>	T0	0	0	0	0
<i>Ficus insipida</i>	T0	0	0	0	0
<i>Guazuma ulmifolia</i>	T0	0	0	0	0
<i>Handroanthus umbellatus</i>	T0	0	0	0	0
<i>Inga marginata</i>	T0	0	0	0	0
<i>Magnolia ovata</i>	T0	0	0	0	0
<i>Miconia chamissois</i>	T0	0	0	0	0
<i>Myrsine umbellata</i>	T0	0	0	0	0
<i>Piper aduncum</i>	T0	0	0	0	0
<i>Tapirira guianensis</i>	T0	0	0	0	0
<i>Alchornea glandulosa</i>	T1	0	-94,93	-18,22	0
<i>Calophyllum brasiliense</i>	T1	0	-27,29	-17,53	0
<i>Cecropia pachystachya</i>	T1	0	-73,08	29,12	0
<i>Cedrela odorata</i>	T1	0	23,23	-8,91	0
<i>Citharexylum myrianthum</i>	T1	0	.	127,38	0
<i>Croton urucurana</i>	T1	0	46,88	8,33	0
<i>Dendropanax cuneatus</i>	T1	0	-59,6	-43,17	0
<i>Ficus insipida</i>	T1	0	21,02	-18,99	0
<i>Guazuma ulmifolia</i>	T1	0	-37,58	-64,8	0
<i>Handroanthus umbellatus</i>	T1	-40	-26,87	104,84	-10
<i>Inga marginata</i>	T1	0	-90,82	-48,02	0
<i>Magnolia ovata</i>	T1	0	13,26	1,44	0
<i>Miconia chamissois</i>	T1	-20	-287,01	-48,48	-2
<i>Myrsine umbellata</i>	T1	0	-82,95	-43,85	0
<i>Piper aduncum</i>	T1	-100	.	.	-90
<i>Tapirira guianensis</i>	T1	0	-40,55	-72,77	0
<i>Alchornea glandulosa</i>	T2	0	-117,95	-58,88	0
<i>Calophyllum brasiliense</i>	T2	0	-23,33	-8,22	0
<i>Cecropia pachystachya</i>	T2	-20	-94,33	-32,42	-2
<i>Cedrela odorata</i>	T2	0	45,16	-63,04	0

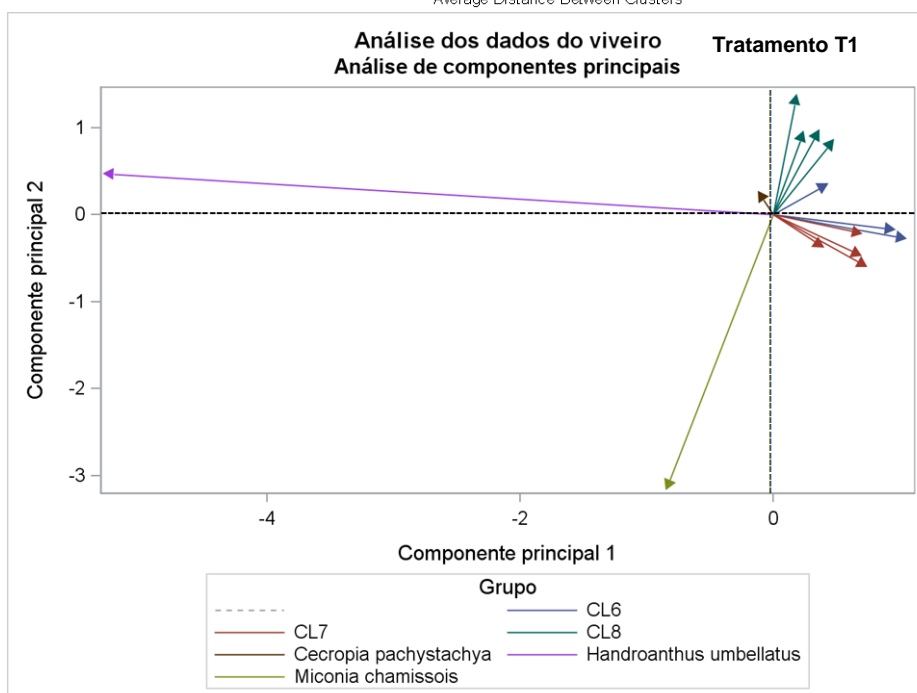
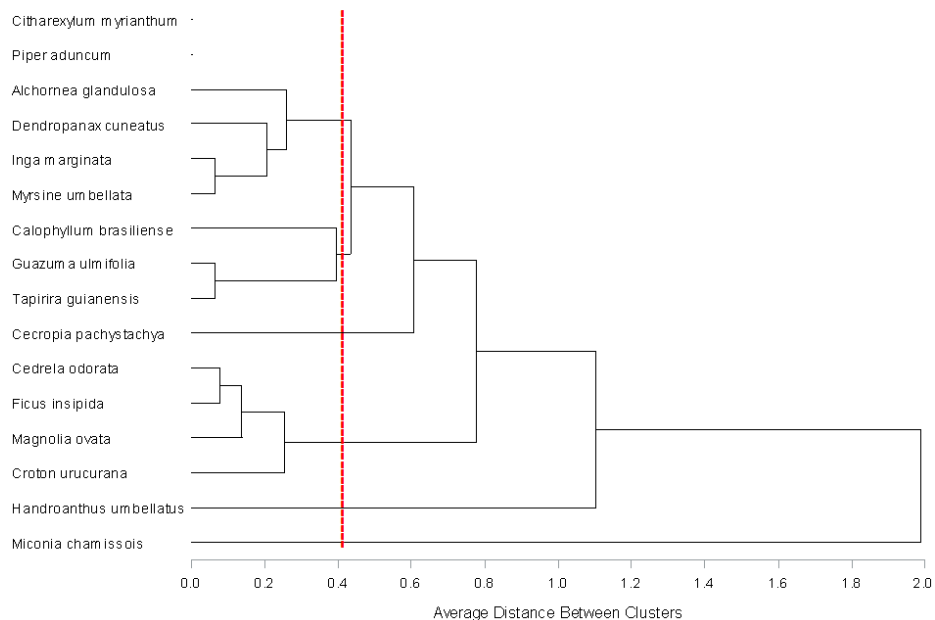
ANEXO A – Valores das variáveis utilizadas na construção do dendograma e gráfico da análise de agrupamento no experimento em viveiro do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, Piracicaba, SP, juntamente com o dendograma, análise de componentes principais e médias obtidas para cada grupo resultante da análise de agrupamento no Tratamento T1 (hipoxia, com -8 cm de lâmina d'água), Tratamento T2 (lâmina d'água de 16 cm, na altura do colo da planta - anoxia) e Tratamento T3 (lâmina d'água de 18 cm, 2 cm de lâmina d'água acima do colo da muda - anoxia) T - Tratamento; TS- taxa de sobrevivência; TCA - taxa de crescimento relativo em altura; TCD - Taxa de crescimento relativo em diâmetro e TES- tempo de sobrevivência, Componente principal 1 = taxa de sobrevivência, componente principal 2 = taxa de crescimento relativo em altura

(conclusão)

Espécie	T	TS %	TCA %	TCD %	TES %
<i>Citharexylum myrianthum</i>	T2	0	.	166,67	0
<i>Croton urucurana</i>	T2	0	17,34	-5,13	0
<i>Dendropanax cuneatus</i>	T2	0	-136,96	-78,78	0
<i>Ficus insipida</i>	T2	-20	-33,12	-29,05	-6
<i>Guazuma ulmifolia</i>	T2	-80	-114,74	16,8	-32
<i>Handroanthus umbellatus</i>	T2	-60	-79,98	8,87	-30
<i>Inga marginata</i>	T2	0	-81,96	-40,32	0
<i>Magnolia ovata</i>	T2	0	-47,67	-21,24	0
<i>Miconia chamissois</i>	T2	0	7,79	-51,95	0
<i>Myrsine umbellata</i>	T2	-80	-142,72	-72,95	-26
<i>Piper aduncum</i>	T2	-100	.	.	-90
<i>Tapirira guianensis</i>	T2	-20	-70,67	-50,79	-2
<i>Alchornea glandulosa</i>	T3	0	-86,39	-59,35	0
<i>Calophyllum brasiliense</i>	T3	0	-72,09	-33,42	0
<i>Cecropia pachystachya</i>	T3	-20	-188,9	-58,79	-6
<i>Cedrela odorata</i>	T3	-20	70,32	-69,97	-6
<i>Citharexylum myrianthum</i>	T3	0	.	363,1	0
<i>Croton urucurana</i>	T3	0	-4,99	-12,18	0
<i>Dendropanax cuneatus</i>	T3	-60	-17,91	-51,98	-34
<i>Ficus insipida</i>	T3	-40	-387,9	-94,97	-8
<i>Guazuma ulmifolia</i>	T3	-100	-80,25	-16	-52
<i>Handroanthus umbellatus</i>	T3	-60	-46,35	-50,81	-28
<i>Inga marginata</i>	T3	0	-87,74	-70,95	0
<i>Magnolia ovata</i>	T3	-20	-70,93	-55,88	-16
<i>Miconia chamissois</i>	T3	-80	64,29	-55,19	-52
<i>Myrsine umbellata</i>	T3	-60	-70,02	-64,55	-20
<i>Piper aduncum</i>	T3	-100	.	.	-90
<i>Tapirira guianensis</i>	T3	0	-134,25	-93,72	0

ANEXO A – Valores das variáveis utilizadas na construção do dendograma e gráfico da análise de agrupamento no experimento em viveiro do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, Piracicaba,SP, juntamente com o dendograma, análise de componentes principais e médias obtidas para cada grupo resultante da análise de agrupamento no Tratamento T1 (hipoxia, com -8 cm de lâmina d'água), Tratamento T2 (lâmina d'água de 16 cm, na altura do colo da planta - anoxia) e Tratamento T3 (lâmina d'água de 18 cm, 2 cm de lâmina d'água acima do colo da muda - anoxia) T - Tratamento; TS- taxa de sobrevivência; TCA - taxa de crescimento relativo em altura; TCD - Taxa de crescimento relativo em diâmetro e TES- tempo de sobrevivência, Componente principal 1 = taxa de sobrevivência, componente principal 2 = taxa de crescimento relativo em altura

Dendograma análise de agrupamento Tratamento T1

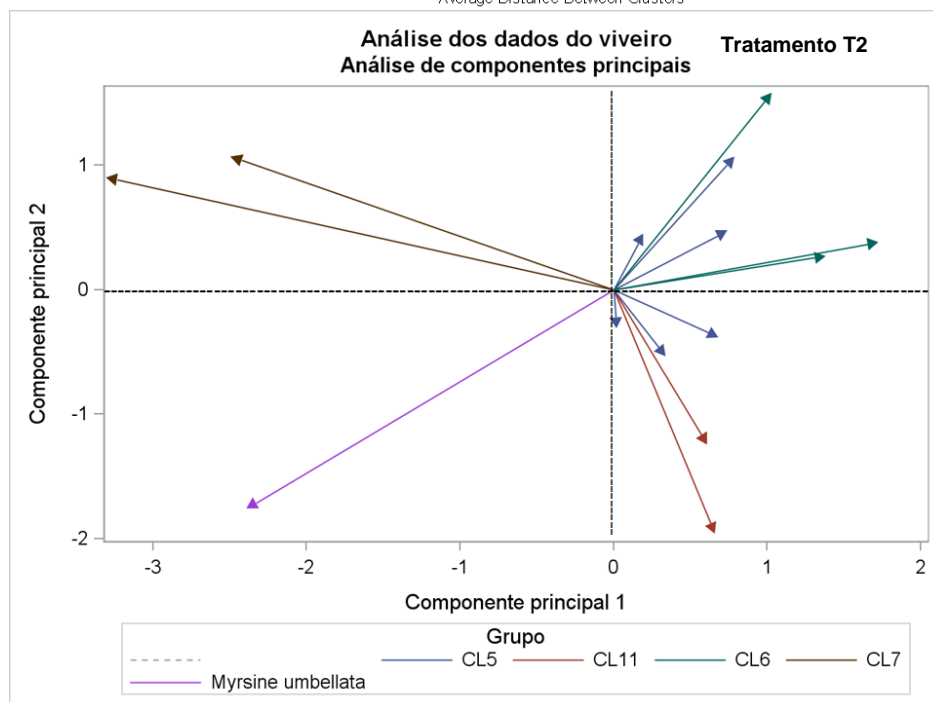
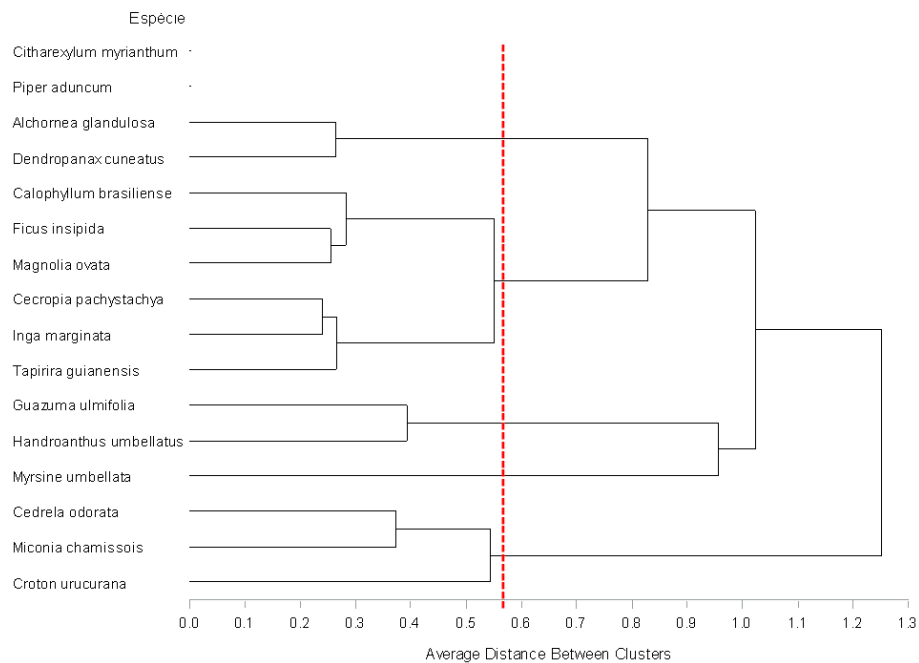


ANEXO A – Valores das variáveis utilizadas na construção do dendograma e gráfico da análise de agrupamento no experimento em viveiro do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, Piracicaba,SP, juntamente com o dendograma, análise de componentes principais e médias obtidas para cada grupo resultante da análise de agrupamento no Tratamento T1 (hipoxia, com -8 cm de lâmina d'água), Tratamento T2 (lâmina d'água de 16 cm, na altura do colo da planta - anoxia) e Tratamento T3 (lâmina d'água de 18 cm, 2 cm de lâmina d'água acima do colo da muda - anoxia) T - Tratamento; TS- taxa de sobrevivência; TCA - taxa de crescimento relativo em altura; TCD - Taxa de crescimento relativo em diâmetro e TES- tempo de sobrevivência, Componente principal 1 = taxa de sobrevivência, componente principal 2 = taxa de crescimento relativo em altura

Grupo – Tratamento T1	Variável	Média	Desvio Padrão
CL6: <i>Calophyllum brasiliense</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Tapirira guianensis</i>	Taxa de sobrevivência	0.00	0.00
	Taxa de crescimento em altura	-35.14	6.96
	Taxa de crescimento em diâmetro	-51.70	29.86
	Tempo de sobrevivência	0.00	0.00
CL7: <i>Alchornea glandulosa</i> , <i>Dendropanax cuneatus</i> , <i>Inga marginata</i> , <i>Myrsine umbellata</i>	Taxa de sobrevivência	0.00	0.00
	Taxa de crescimento em altura	-82.07	15.79
	Taxa de crescimento em diâmetro	-38.32	13.57
	Tempo de sobrevivência	0.00	0.00
CL8: <i>Cedrela odorata</i> , <i>Croton urucurana</i> ; <i>Ficus insipida</i> , <i>Magnolia ovata</i>	Taxa de sobrevivência	0.00	0.00
	Taxa de crescimento em altura	26.10	14.50
	Taxa de crescimento em diâmetro	-4.53	11.97
	Tempo de sobrevivência	0.00	0.00
<i>Cecropia pachystachya</i>	Taxa de sobrevivência	0.00	.
	Taxa de crescimento em altura	-73.08	.
	Taxa de crescimento em diâmetro	29.12	.
	Tempo de sobrevivência	0.00	.
<i>Handroanthus umbellatus</i>	Taxa de sobrevivência	-40.00	.
	Taxa de crescimento em altura	-26.87	.
	Taxa de crescimento em diâmetro	104.84	.
	Tempo de sobrevivência	-10.00	.
<i>Miconia chamissois</i>	Taxa de sobrevivência	-20.00	.
	Taxa de crescimento em altura	-287.01	.
	Taxa de crescimento em diâmetro	-48.48	.
	Tempo de sobrevivência	-2.00	.

ANEXO A – Valores das variáveis utilizadas na construção do dendograma e gráfico da análise de agrupamento no experimento em viveiro do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, Piracicaba,SP, juntamente com o dendograma, análise de componentes principais e médias obtidas para cada grupo resultante da análise de agrupamento no Tratamento T1 (hipoxia, com -8 cm de lâmina d'água), Tratamento T2 (lâmina d'água de 16 cm, na altura do colo da planta - anoxia) e Tratamento T3 (lâmina d'água de 18 cm, 2 cm de lâmina d'água acima do colo da muda - anoxia) T - Tratamento; TS- taxa de sobrevivência; TCA - taxa de crescimento relativo em altura; TCD - Taxa de crescimento relativo em diâmetro e TES- tempo de sobrevivência, Componente principal 1 = taxa de sobrevivência, componente principal 2 = taxa de crescimento relativo em altura

Dendograma análise de agrupamento Tratamento T2

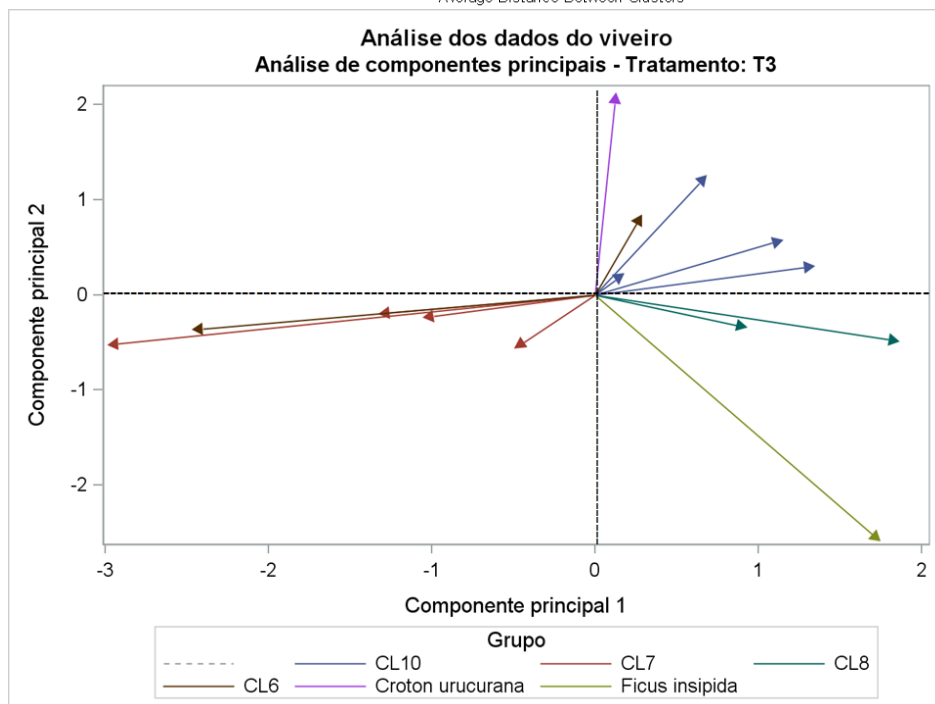
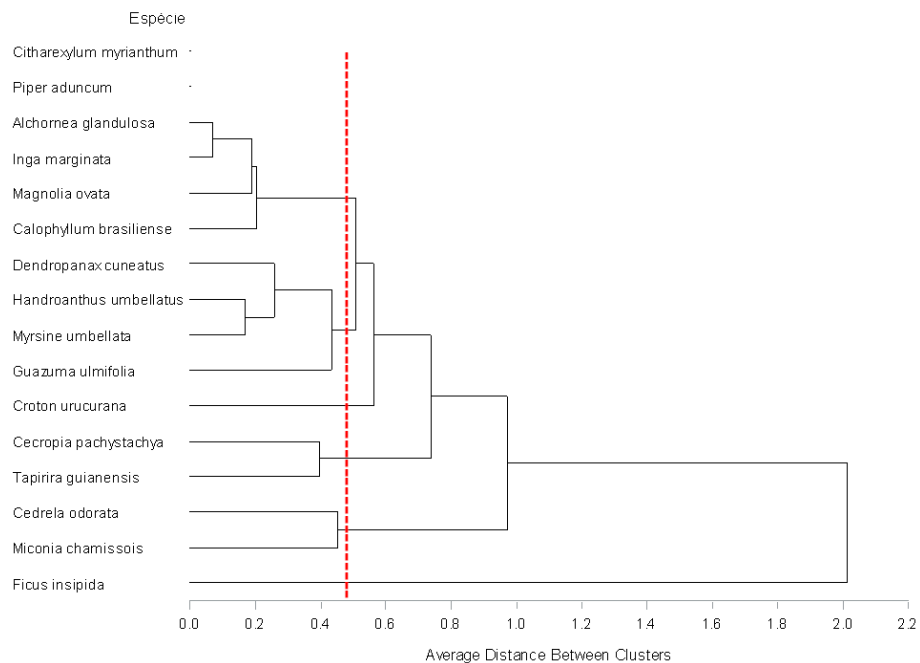


ANEXO A – Valores das variáveis utilizadas na construção do dendograma e gráfico da análise de agrupamento no experimento em viveiro do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, Piracicaba,SP, juntamente com o dendograma, análise de componentes principais e médias obtidas para cada grupo resultante da análise de agrupamento no Tratamento T1 (hipoxia, com -8 cm de lâmina d'água), Tratamento T2 (lâmina d'água de 16 cm, na altura do colo da planta - anoxia) e Tratamento T3 (lâmina d'água de 18 cm, 2 cm de lâmina d'água acima do colo da muda - anoxia) T - Tratamento; TS- taxa de sobrevivência; TCA - taxa de crescimento relativo em altura; TCD - Taxa de crescimento relativo em diâmetro e TES- tempo de sobrevivência, Componente principal 1 = taxa de sobrevivência, componente principal 2 = taxa de crescimento relativo em altura

Grupo –Tratamento T2	Variável	Média	Desvio Padrão
CL11: <i>Alchornea glandulosa</i> , <i>Dendropanax cuneatus</i>	Taxa de sobrevivência	0.00	0.00
	Taxa de crescimento em altura	-127.45	13.45
	Taxa de crescimento em diâmetro	-68.83	14.07
	Tempo de sobrevivência	0.00	0.00
CL5: <i>Calophyllum brasiliense</i> , <i>Cecropia pachystachya</i> , <i>Ficus insipida</i> , <i>Inga marginata</i> , <i>Magnolia ovata</i> , <i>Tapirira guianensis</i>	Taxa de sobrevivência	-10.00	10.95
	Taxa de crescimento em altura	-58.51	28.22
	Taxa de crescimento em diâmetro	-30.34	14.80
	Tempo de sobrevivência	-1.67	2.34
CL6: <i>Cedrela odorata</i> , <i>Croton urucurana</i> , <i>Miconia chamissois</i>	Taxa de sobrevivência	0.00	0.00
	Taxa de crescimento em altura	23.43	19.42
	Taxa de crescimento em diâmetro	-40.04	30.74
	Tempo de sobrevivência	0.00	0.00
CL7: <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Handroanthus umbellatus</i>	Taxa de sobrevivência	-70.00	14.14
	Taxa de crescimento em altura	-97.36	24.58
	Taxa de crescimento em diâmetro	12.84	5.61
	Tempo de sobrevivência	-31.00	1.41
<i>Myrsine umbellata</i>	Taxa de sobrevivência	-80.00	.
	Taxa de crescimento em altura	-142.72	.
	Taxa de crescimento em diâmetro	-72.95	.
	Tempo de sobrevivência	-26.00	.

ANEXO A – Valores das variáveis utilizadas na construção do dendograma e gráfico da análise de agrupamento no experimento em viveiro do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, Piracicaba,SP, juntamente com o dendograma, análise de componentes principais e médias obtidas para cada grupo resultante da análise de agrupamento no Tratamento T1 (hipoxia, com -8 cm de lâmina d'água), Tratamento T2 (lâmina d'água de 16 cm, na altura do colo da planta - anoxia) e Tratamento T3 (lâmina d'água de 18 cm, 2 cm de lâmina d'água acima do colo da muda - anoxia) T - Tratamento; TS- taxa de sobrevivência; TCA - taxa de crescimento relativo em altura; TCD - Taxa de crescimento relativo em diâmetro e TES- tempo de sobrevivência, Componente principal 1 = taxa de sobrevivência, componente principal 2 = taxa de crescimento relativo em altura

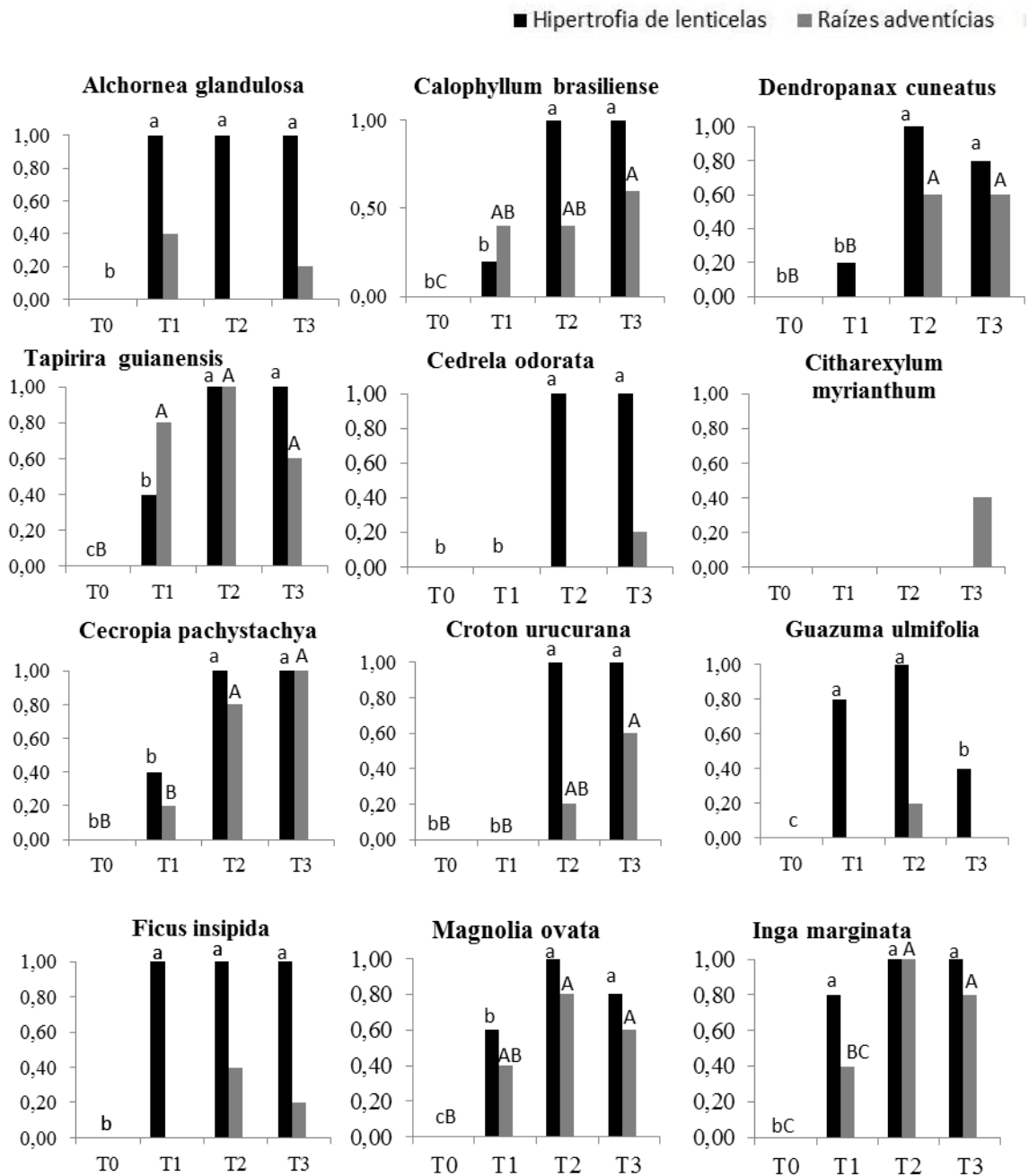
Dendograma análise de agrupamento Tratamento T3

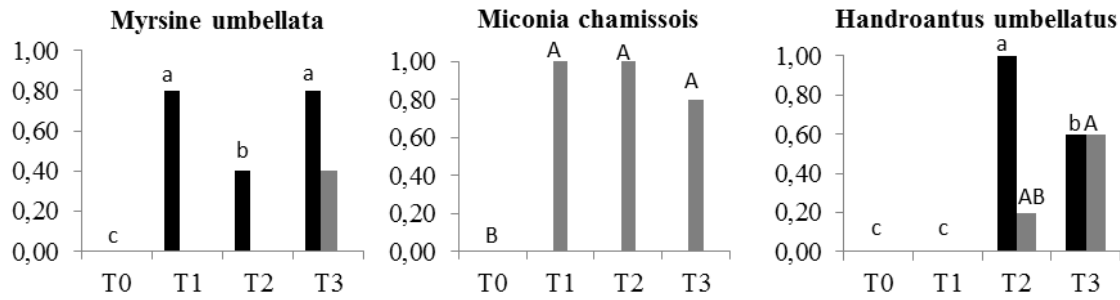


ANEXO A – Valores das variáveis utilizadas na construção do dendograma e gráfico da análise de agrupamento no experimento em viveiro do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, Piracicaba,SP, juntamente com o dendograma, análise de componentes principais e médias obtidas para cada grupo resultante da análise de agrupamento no Tratamento T1 (hipoxia, com -8 cm de lâmina d'água), Tratamento T2 (lâmina d'água de 16 cm, na altura do colo da planta - anoxia) e Tratamento T3 (lâmina d'água de 18 cm, 2 cm de lâmina d'água acima do colo da muda - anoxia) T - Tratamento; TS- taxa de sobrevivência; TCA - taxa de crescimento relativo em altura; TCD - Taxa de crescimento relativo em diâmetro e TES- tempo de sobrevivência, Componente principal 1 = taxa de sobrevivência, componente principal 2 = taxa de crescimento relativo em altura

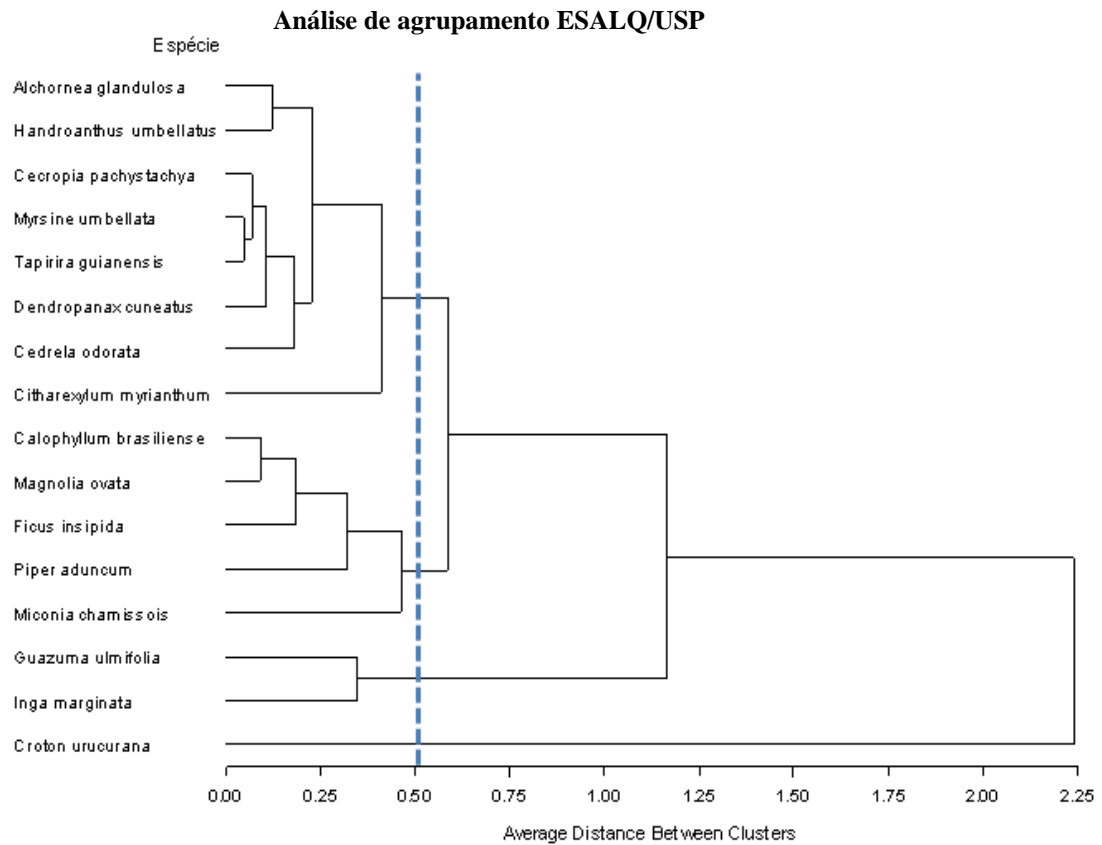
Grupo – Tratamento T3	Variável	Média	Desvio Padrão
CL10: <i>Alchornea glandulosa</i> , <i>Calophyllum brasiliense</i> , <i>Inga marginata</i> , <i>Magnolia ovata</i>	Taxa de sobrevivência	-5.00	10.00
	Taxa de crescimento em altura	-79.29	9.01
	Taxa de crescimento em diâmetro	-54.90	15.70
	Tempo de sobrevivência	-4.00	8.00
CL6: <i>Cedrela odorata</i> , <i>Miconia chamissois</i>	Taxa de sobrevivência	-50.00	42.43
	Taxa de crescimento em altura	67.30	4.27
	Taxa de crescimento em diâmetro	-62.58	10.45
	Tempo de sobrevivência	-29.00	32.53
CL7: <i>Dendropanax cuneatus</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Handroanthus umbellatus</i> , <i>Myrsine umbellata</i>	Taxa de sobrevivência	-70.00	20.00
	Taxa de crescimento em altura	-53.63	27.73
	Taxa de crescimento em diâmetro	-45.83	20.84
	Tempo de sobrevivência	-33.50	13.60
CL8: <i>Cecropia pachystachya</i> , <i>Tapirira guianensis</i>	Taxa de sobrevivência	-10.00	14.14
	Taxa de crescimento em altura	-161.58	38.64
	Taxa de crescimento em diâmetro	-76.25	24.70
	Tempo de sobrevivência	-3.00	4.24
<i>Croton urucurana</i>	Taxa de sobrevivência	0.00	.
	Taxa de crescimento em altura	-4.99	.
	Taxa de crescimento em diâmetro	-12.18	.
	Tempo de sobrevivência	0.00	.
<i>Ficus insipida</i>	Taxa de sobrevivência	-40.00	.
	Taxa de crescimento em altura	-387.90	.
	Taxa de crescimento em diâmetro	-94.97	.
	Tempo de sobrevivência	-8.00	.

ANEXO B – Desenvolvimento de estruturas morfológicas em todas as espécies submetidas aos tratamentos de saturação hídrica em viveiro, exceto em *Piper aduncum*. Letras minúsculas indicam diferenças significativas ($p < 0.05$) no teste de Tukey-Holm entre os tratamentos para hipertrofia de lenticelas, letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos para raízes adventícias. T0 = Tratamento controle; T1 = lâmina d'água de 8 cm (hipoxia); T2 = lâmina d'água de 16 cm, na altura do colo da planta (anoxia); T3 = lâmina d'água de 18 cm, 2 cm de lâmina d'água acima do colo da muda (anoxia)

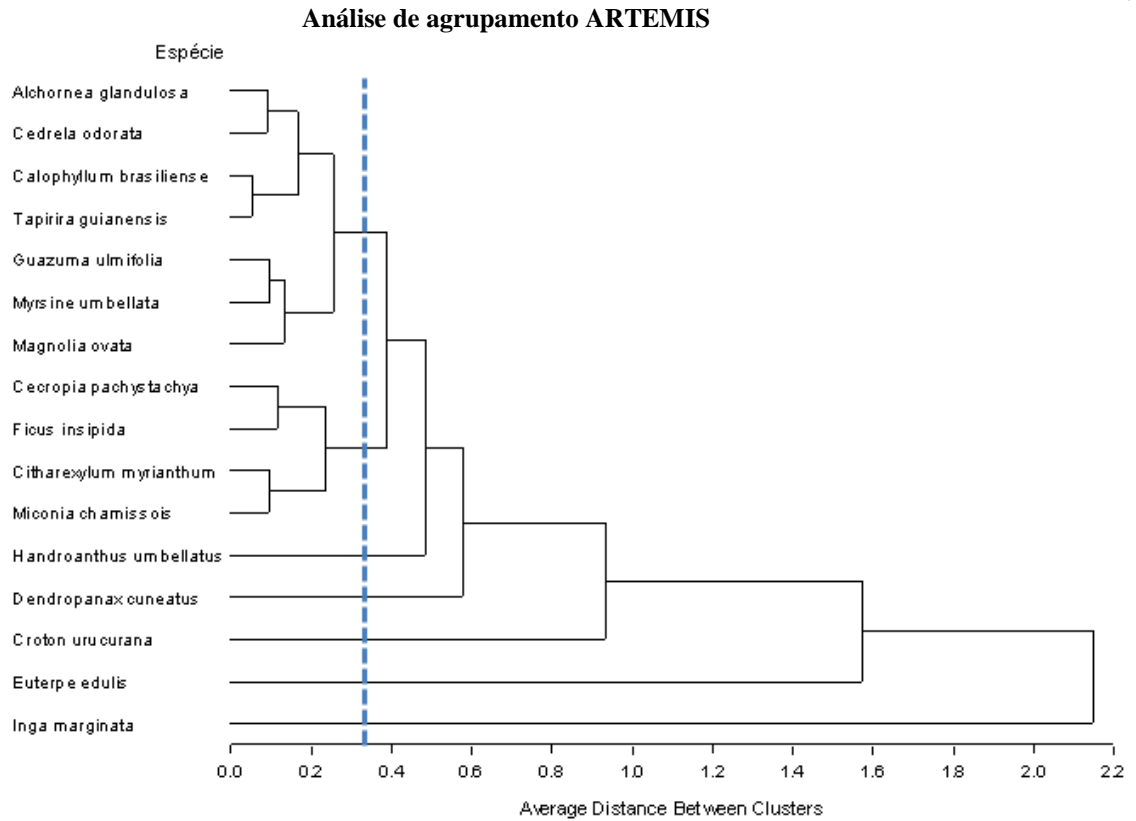




ANEXO C - Dendrograma de agrupamento pela distância média dos grupos para as espécies submetidas aos métodos de preparo de solo na ESALQ/USP (método controle, método montículo e método sulco) e em Artemis (método controle e método montículo), para a taxa de sobrevivência, tempo de sobrevivência, taxa de crescimento relativo em altura e taxa de crescimento relativo em diâmetro



ANEXO C - Dendrograma de agrupamento pela distância média dos grupos para as espécies submetidas aos métodos de preparo de solo na ESALQ/USP (método controle, método montículo e método sulco) e em Artemis (método controle e método montículo), para a taxa de sobrevivência, tempo de sobrevivência, taxa de crescimento relativo em altura e taxa de crescimento relativo em diâmetro



ANEXO D - Teste de Tukey para taxa de crescimento relativo em altura e em diâmetro e tempo de sobrevivência das 16 espécies arbóreas submetidas ao método convencional, montículo e sulco na ESALQ/USP (dados obtidos das 21 parcelas de 32x16 m) e ao método convencional e montículo em Artemis (dados obtidos das 10 parcelas de 8x8 m). Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças ($p < 0,05$) entre as espécies e letras minúsculas diferentes indicam diferenças entre os métodos de preparo de solo. C – Método Convencional; M – Método Montículo e S – Método Sulco

ESALQ/USP						
Taxa de crescimento relativo em Altura			Taxa de crescimento relativo em Diâmetro			
Espécie	Média		Espécie	Média		
<i>Croton urucurana</i>	18,739	A	<i>Croton urucurana</i>	3,517	A	
<i>Inga marginata</i>	11,6143	B	<i>Citharexylum myrianthum</i>	1,949	B	
<i>Guazuma ulmifolia</i>	9,2628	CB	<i>Inga marginata</i>	1,913	B	
<i>Citharexylum myrianthum</i>	6,3561	CD	<i>Guazuma ulmifolia</i>	1,897	B	
<i>Alchornea glandulosa</i>	5,086	DE	<i>Piper aduncum</i>	1,392	CB	
<i>Handroanthus umbellatus</i>	4,5461	DEF	<i>Cedrela odorata</i>	1,208	CD	
<i>Tapirira guianensis</i>	4,0233	DEF	<i>Cecropia pachystachya</i>	1,165	CD	
<i>Myrsine umbellata</i>	3,6916	DEF	<i>Alchornea glandulosa</i>	1,096	CD	
<i>Dendropanax cuneatus</i>	3,5706	DEFG	<i>Ficus insipida</i>	1,087	CD	
<i>Cecropia pachystachya</i>	3,448	DEFG	<i>Tapirira guianensis</i>	0,989	CDE	
<i>Cedrela odorata</i>	2,7916	EFG	<i>Handroanthus umbellatus</i>	0,866	CDE	
<i>Calophyllum brasiliense</i>	2,3698	EFG	<i>Myrsine umbellata</i>	0,862	CDE	
<i>Piper aduncum</i>	1,5519	EFG	<i>Dendropanax cuneatus</i>	0,779	CDE	
<i>Magnolia ovata</i>	1,5199	EFG	<i>Calophyllum brasiliense</i>	0,573	CDE	
<i>Ficus insipida</i>	1,3082	FG	<i>Magnolia ovata</i>	0,541	DE	
<i>Miconia chamissois</i>	-0,4977	G	<i>Miconia chamissois</i>	0,221	E	

Tempo de Sobrevivência						
Espécie	Média	C	Média	M	Média	S
<i>Citharexylum myrianthum</i>	12,00 ± 0,00	aA	11,71 ± 0,83	aA	11,79 ± 0,80	aA
<i>Croton urucurana</i>	12,00 ± 0,00	aA	11,64 ± 1,08	aA	12,00 ± 0,00	aA
<i>Inga marginata</i>	12,00 ± 0,00	aA	11,64 ± 1,34	aA	12,00 ± 0,00	aA
<i>Cedrela odorata</i>	11,71 ± 1,07	aAB	12,00 ± 0,00	aA	11,64 ± 1,34	aA
<i>Guazuma ulmifolia</i>	11,64 ± 1,08	aAB	11,86 ± 0,53	aA	12,00 ± 0,00	aA
<i>Handroanthus umbellatus</i>	11,57 ± 1,34	aAB	11,79 ± 0,80	aA	11,14 ± 1,99	aA
<i>Cecropia pachystachya</i>	11,50 ± 1,09	aAB	11,00 ± 1,41	aAB	11,29 ± 1,44	aA
<i>Myrsine umbellata</i>	11,21 ± 1,76	aAB	10,71 ± 1,44	aAB	11,64 ± 0,93	aA
<i>Tapirira guianensis</i>	11,21 ± 1,58	aAB	11,14 ± 1,41	aAB	11,50 ± 1,40	aA
<i>Dendropanax cuneatus</i>	10,93 ± 2,06	aAB	9,36 ± 1,74	bBCD	11,50 ± 1,40	aA
<i>Alchornea glandulosa</i>	10,86 ± 1,96	aAB	10,86 ± 1,88	aAB	11,71 ± 0,73	aA
<i>Calophyllum brasiliense</i>	10,79 ± 1,31	aAB	8,64 ± 1,15	bcDE	10,36 ± 1,91	aAB
<i>Magnolia ovata</i>	10,79 ± 1,31	aAB	8,79 ± 1,37	bcDE	10,57 ± 1,34	aAB
<i>Ficus insipida</i>	10,07 ± 2,53	bB	10,43 ± 1,99	bABC	12,00 ± 0,00	aA
<i>Miconia chamissois</i>	7,93 ± 1,54	aC	7,21 ± 1,25	aE	8,43 ± 1,65	aC
<i>Piper aduncum</i>	7,93 ± 1,94	aC	8,07 ± 2,23	aDE	8,86 ± 2,28	aBC

ANEXO D - Teste de Tukey para taxa de crescimento relativo em altura e em diâmetro e tempo de sobrevivência das 16 espécies arbóreas submetidas ao método convencional, montículo e sulco na ESALQ/USP (dados obtidos das 21 parcelas de 32x16 m) e ao método convencional e montículo em Artemis (dados obtidos das 10 parcelas de 8x8 m). Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças ($p < 0,05$) entre as espécies e letras minúsculas diferentes indicam diferenças entre os métodos de preparo de solo. C – Método Convencional; M – Método Montículo e S – Método Sulco

ARTEMIS				
Taxa de crescimento relativo em Altura			Taxa de crescimento relativo em Diâmetro	
Espécie	Média		Espécie	Média
<i>Inga marginata</i>	8,9624	A	<i>Inga marginata</i>	2,0212 A
<i>Croton urucurana</i>	3,9293	B	<i>Croton urucurana</i>	1,1036 B
<i>Handroanthus umbellatus</i>	1,6713	CB	<i>Citharexylum myrianthum</i>	0,8136 CB
<i>Citharexylum myrianthum</i>	0,4353	CB	<i>Handroanthus umbellatus</i>	0,6156 CBD
<i>Miconia chamissois</i>	0,2573	CB	<i>Miconia chamissois</i>	0,4596 CBD
<i>Magnolia ovata</i>	0,2183	CB	<i>Magnolia ovata</i>	0,4106 CBD
<i>Dendropanax cuneatus</i>	0,0912	CB	<i>Guazuma ulmifolia</i>	0,3619 CBD
<i>Calophyllum brasiliense</i>	-0,1067	C	<i>Ficus insipida</i>	0,3516 CBD
<i>Euterpe edulis</i>	-0,1271	C	<i>Cecropia pachystachya</i>	0,3346 CBD
<i>Cedrela odorata</i>	-0,1747	C	<i>Euterpe edulis</i>	0,3153 CBD
<i>Alchornea glandulosa</i>	-0,1867	C	<i>Calophyllum brasiliense</i>	0,3126 CBD
<i>Tapirira guianensis</i>	-0,2397	C	<i>Tapirira guianensis</i>	0,2696 CD
<i>Cecropia pachystachya</i>	-0,3687	C	<i>Myrsine umbellata</i>	0,1606 CD
<i>Guazuma ulmifolia</i>	-0,3801	C	<i>Alchornea glandulosa</i>	0,1466 CD
<i>Myrsine umbellata</i>	-0,3957	C	<i>Dendropanax cuneatus</i>	0,1339 CD
<i>Ficus insipida</i>	-0,9157	C	<i>Cedrela odorata</i>	0,00858 D
Tempo de sobrevivência				
Espécie	Média	C	Média	M
<i>Cecropia pachystachya</i>	12,00 ± 0,00	aA	12,00 ± 0,00	aA
<i>Croton urucurana</i>	12,00 ± 0,00	aA	12,00 ± 0,00	aA
<i>Ficus insipida</i>	12,00 ± 0,00	aA	12,00 ± 0,00	aA
<i>Miconia chamissois</i>	12,00 ± 0,00	aA	12,00 ± 0,00	aA
<i>Handroanthus umbellatus</i>	12,00 ± 0,00	aA	11,60 ± 0,89	aA
<i>Calophyllum brasiliense</i>	12,00 ± 0,00	aA	8,80 ± 4,38	bAB
<i>Magnolia ovata</i>	12,00 ± 0,00	aA	7,60 ± 4,10	bAB
<i>Citharexylum myrianthum</i>	11,60 ± 0,89	aA	12,00 ± 0,00	aA
<i>Alchornea glandulosa</i>	11,20 ± 1,79	aA	11,60 ± 0,89	aA
<i>Cedrela odorata</i>	10,00 ± 3,46	aA	12,00 ± 0,00	aA
<i>Tapirira guianensis</i>	9,20 ± 3,90	aAB	12,00 ± 0,00	aA
<i>Guazuma ulmifolia</i>	8,00 ± 5,48	bAB	12,00 ± 0,00	aA
<i>Inga marginata</i>	8,00 ± 5,48	bAB	12,00 ± 0,00	aA
<i>Dendropanax cuneatus</i>	8,40 ± 4,98	aAB	8,80 ± 4,38	aAB
<i>Myrsine umbellata</i>	7,20 ± 3,03	bAB	12,00 ± 0,00	aA
<i>Euterpe edulis</i>	4,00 ± 1,41	aB	3,60 ± 0,89	aB

ANEXO E - Resultados da correlação de Spearman para associação entre o tempo de duração da saturação hídrica e as taxas de crescimento (relativo em altura e diâmetro) e o tempo de sobrevivência no desenvolvimento e estabelecimento inicial de cada espécie na experimentação em campo em Artemis e na ESALQ/USP. Todas as correlações foram não significativas. TES – tempo de sobrevivência; TCA – taxa de crescimento relativo em altura; TCD – taxa de crescimento relativo em diâmetro

Espécie	ESALQ/USP					
	TES		TCA		TCD	
	r	p	r	P	r	P
<i>Alchornea glandulosa</i>	-0,02167	0,9611	-0,0447	0,7897	-0,01399	0,9336
<i>Calophyllum brasiliense</i>	0,11306	0,4759	-0,0917	0,584	-0,06196	0,7117
<i>Cecropia pachystachya</i>	-0,01272	0,9921	0,0779	0,6239	-0,0028	0,986
<i>Cedrela odorata</i>	0,14712	0,3525	-0,067	0,6774	-0,01858	0,9082
<i>Citharexylum myrianthum</i>	0,0833	0,6	0,02747	0,8629	0,04623	0,7713
<i>Croton urucurana</i>	-0,16651	0,2919	0,01777	0,9111	0,00444	0,9777
<i>Dendropanax cuneatus</i>	-0,08415	0,6224	0,05736	0,7359	-0,06472	0,7035
<i>Ficus insipida</i>	0,12268	0,4052	-0,0302	0,861	-0,02033	0,9063
<i>Guazuma ulmifolia</i>	-0,13258	0,3319	-0,1315	0,4067	-0,15053	0,3413
<i>Handroanthus umbellatus</i>	-0,1268	0,4441	0,05665	0,7319	0,02163	0,896
<i>Inga marginata</i>	0,11256	0,4779	0,02601	0,8718	0,12854	0,4232
<i>Magnolia ovata</i>	0,08291	0,5381	0,22232	0,1737	0,25882	0,1068
<i>Miconia chamissois</i>	0,11218	0,5079	-0,1002	0,6337	-0,14261	0,4965
<i>Myrsine umbellata</i>	-0,09449	0,5517	-0,1035	0,5198	-0,0801	0,6186
<i>Piper aduncum</i>	0,05216	0,7429	-0,1483	0,5212	-0,12643	0,585
<i>Tapirira guianensis</i>	0,13656	0,2774	-0,0149	0,9265	-0,12328	0,4425
	ARTEMIS					
<i>Alchornea glandulosa</i>	0,17594	0,6268	-0,3814	0,2768	0,06356	0,8615
<i>Calophyllum brasiliense</i>	0,19487	0,5895	-0,3242	0,3608	0,00636	0,9861
<i>Cecropia pachystachya</i>	.	.	-0,4577	0,1835	0,21612	0,5487
<i>Cedrela odorata</i>	0,26476	0,4598	0,34325	0,3315	0,21612	0,5487
<i>Citharexylum myrianthum</i>	0,27462	0,4426	-0,2352	0,5131	-0,17162	0,6354
<i>Croton urucurana</i>	.	.	-0,178	0,6228	0,1017	0,7798
<i>Dendropanax cuneatus</i>	0,20145	0,5768	0,20795	0,5913	-0,06932	0,8594
<i>Euterpe edulis</i>	0,02887	0,10821	0,20025	0,4255	-0,30038	-0,3254
<i>Ficus insipida</i>	.	.	0,26697	0,4559	0,15255	0,6739
<i>Guazuma ulmifolia</i>	0,10821	0,766	0,42553	0,2932	-0,32541	0,4316
<i>Handroanthus umbellatus</i>	-0,09832	0,787	-0,2924	0,4123	0,12077	0,7396
<i>Inga marginata</i>	0,10821	0,766	0,34178	0,4073	0,34178	0,4073
<i>Magnolia ovata</i>	0,32396	0,3611	0,15255	0,6739	0,22883	0,5248
<i>Miconia chamissois</i>	.	.	0,43224	0,2122	0,01907	0,9583
<i>Myrsine umbellata</i>	0,03198	0,9301	0,22883	0,5248	0,28604	0,423
<i>Tapirira guianensis</i>	0,29324	0,4109	0,26697	0,4559	-0,31782	0,3708