

FERNANDA ALMEIDA GRISI

ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE AROEIRA (*Schinus terebinthifolius Raddi*), SOB NÍVEIS DISTINTOS DE SATURAÇÃO HÍDRICA EM AMBIENTE PROTEGIDO, E ÁREA CILIAR EM PROCESSO DE RECUPERAÇÃO

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor, pelo curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de concentração em Silvicultura, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Camargo Ângelo

Co-orientadora: Prof.^a Dr.^a Ângela Maria Soares

Co-orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria Regina Boeger

CURITIBA

2010

Ficha catalográfica elaborada por Tania de Barros Baggio – CRB 760/PR

Grisi, Fernanda Almeida.

Aspectos fisiológicos de aroeira (*Schinus terebinthifolius Raddi*), sob níveis distintos de saturação hídrica em ambiente protegido, e área ciliar em processo de recuperação / Fernanda Almeida Grisi.- 2010.

126f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Camargo Ângelo

Co-orientadores: Prof^a. Dr^a. Ângela Maria Soares, Prof^a. Dr^a. Maria Regina Boeger

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 01/04/2010

Inclui bibliografia

Área de concentração: Silvicultura

1. Aroeira-vermelha - Aspectos fisiológicos. 2. Revegetação ciliar. 3. Mudanças. 4. Teses. I. Ângelo, Alessandro Camargo. II. Soares, Ângela Maria. III. Boeger, Maria Regina Torres. V. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. III. Título.

CDD – 631.64

CDU – 631.614

*"... Procuo a oportunidade ...
Não sou indolente, sem iniciativa ...
Escolho o risco calculado de sonhar, de construir, de falhar,
de realizar e poder alcançar a vitória.
Prefiro os desafios da vida ...
As emoções de uma conquista à insipidez da utopia.
Não troco a minha liberdade e dignidade por fama.
Meu patrimônio é pensar e agir ...
gozar dos benefícios da minha criatividade,
olhar com intrepidez o mundo, e dizer, de cabeça erguida:
Isso eu fiz, com a ajuda de Deus."
(Autor desconhecido)*

*"E, se clamares por inteligência, e por entendimento alçares a voz,
se buscares a sabedoria como a prata e como a tesouros escondidos a procurares,
então , entenderás o temor do Senhor e acharás o conhecimento de Deus.
Porque o Senhor dá sabedoria, e da sua boca vem a inteligência e o entendimento.
Ele reserva a verdadeira sabedoria para os retos."(Pv 2.3-7)
"Entretanto, expomos sabedoria entre os experimentados;
não, porém, a sabedoria deste século, nem a dos poderosos desta época,
que se reduzem a nada;"(1Co2.6)
"A sabedoria, porém, lá do alto é, primeiramente, pura;
depois, pacífica, indulgente, tratável plena de misericórdia e de bons frutos,
imparcial, sem fingimento." (Tg 3.17)*

**À MINHA AMADA MÃE, LÍGIA,
DEDICO**

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Paraná e ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu Professor Orientador, pela oportunidade de estudar fisiologia florestal, pela possibilidade de trabalharmos com base na confiança e cooperação, e principalmente por construirmos atitudes de consideração e respeito.

À Dr.^a Ângela Maria Soares e à Dr.^a Maria Regina Torres Boeger pela co-orientação, com úteis sugestões e oportunas considerações.

Ao Centro Nacional de Pesquisa de Florestas/Embrapa, Colombo-PR, pela disponibilização da infra-estrutura e serviços, por intermédio do pesquisador e colaborador Dr. Ivar Wendling.

Ao Dr. Itamar Bognola e ao Décio Adams, pela disponibilidade para as avaliações do experimento em campo e contribuições. Também aos demais pesquisadores, técnicos e funcionários do viveiro e laboratório de solos da Embrapa Florestas.

Ao Setor de Ciências Biológicas/Departamento de Botânica/UFPR, Curitiba – PR, por intermédio da Prof.^a Dr.^a Maria Regina Torres Boeger, ao Fábio e Ciane.

Ao Laboratório de Botânica da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB, Vitória da Conquista – BA, por intermédio do Prof. e colaborador Dr. Carlos André Espolador Leitão.

À bióloga Sara Fernandes Galvão pelo apoio e contribuições.

Ao Dr. Anselmo Eloy Silveira Viana, pela grande contribuição em estatística.

Aos membros da banca examinadora: Dr. José Donizeti Alves, Dr. Carlos André Espolador Leitão, Dr. Carlos Bruno Reissmann, Dr. Ivar Wendling e Dr. Alessandro Camargo Ângelo.

Aos colegas de curso: Francisca, Keillah Mara, Thais Regina, Gilvano, Suelen, Ariadne, Eliziane, Delmar, Érika. Em especial aos amigos companheiros de jornada, Silviana e Lucas.

À Coordenadora Graciela e aos secretários da Pós-Graduação, Reinaldo e Davi pelo auxílio.

À minha família, mesmo que distante, pelo apoio.

À todos que direta ou indiretamente me ajudaram a cursar o doutorado.

Agradeço principalmente Ao Senhor Deus, Autor e Consumador da minha fé, por me permitir concluir o doutorado, me suprimo com suas forças consoladoras em todos os momentos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE ANEXOS.....	x
RESUMO GERAL.....	01
GENERAL SUMMARY.....	02
I. INTRODUÇÃO GERAL.....	03
I.I RESTAURAÇÃO DE MATAS CILIARES.....	03
I.II RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DAS PLANTAS AO ALAGAMENTO.....	04
II. DESCRIÇÃO DA ESPÉCIE.....	06
III. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	09
IV. JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS.....	13
V. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	14
ASPECTOS FISIOLÓGICOS EM AMBIENTE CILIAR (CAPÍTULO 1).....	15
1) CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL E ECOFISIOLÓGICA DE AROEIRA-VERMELHA EM ÁREA DE REVEGETAÇÃO ÀS MARGENS DA REPRESA IRAÍ-PR.....	16
RESUMO.....	17
ABSTRACT.....	17
INTRODUÇÃO.....	18
MATERIAL E MÉTODOS.....	20
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
CONCLUSÕES.....	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32
ASPECTOS FISIOLÓGICOS EM AMBIENTE PROTEGIDO (CAPÍTULOS 2, 3 e 4)...	37

2) TROCAS GASOSAS E TEOR DE CLOROFILA EM MUDAS DE AROEIRA (<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi) SUBMETIDAS A DIFERENTES GRAUS DE INUNDAÇÃO.....	38
RESUMO.....	39
ABSTRACT.....	39
INTRODUÇÃO.....	40
MATERIAL E MÉTODOS.....	42
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
CONCLUSÕES.....	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
3) AVALIAÇÕES DE CRESCIMENTO EM MUDAS DE AROEIRA-VERMELHA (<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi) SOB DIFERENTES NÍVEIS DE ALAGAMENTO.....	56
RESUMO.....	57
ABSTRACT.....	57
INTRODUÇÃO.....	58
MATERIAL E MÉTODOS.....	60
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	61
CONCLUSÕES.....	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
4) MORFOANATOMIA FOLIAR EM MUDAS DE <i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi (ANACARDIACEAE) SOB DIFERENTES NÍVEIS DE SATURAÇÃO HÍDRICA	79
RESUMO.....	80
ABSTRACT.....	80
INTRODUÇÃO.....	81
MATERIAL E MÉTODOS.....	83
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	85

CONCLUSÕES.....	97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	103
ANEXOS.....	105

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1: CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL E ECOFISIOLÓGICA DE AROEIRA-VERMELHA EM ÁREA DE REVEGETAÇÃO ÀS MARGENS DA REPRESA IRAÍ-PR.

- FIGURA 1 DENSIDADE DE FLUXO DE FÓTONS FOTOSSINTETICAMENTE ATIVOS (DFFFA) DE QUATRO AVALIAÇÕES DURANTE O INVERNO..... 27
- FIGURA 2 TRANSPIRAÇÃO (A); CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA (B); FOTOSSÍNTESE (C) DE QUATRO AVALIAÇÕES DURANTE O INVERNO EM AROEIRA-VERMELHA..... 28
- FIGURA 3 EFICIÊNCIA INTRÍNSECA DO USO DA ÁGUA (A); CONCENTRAÇÃO INTERNA DE CO₂ (B); EFICIÊNCIA INSTANTÂNEA DE CARBOXILAÇÃO (C) DE QUATRO AVALIAÇÕES DURANTE O INVERNO EM AROEIRA-VERMELHA..... 29

CAPÍTULO 2: TROCAS GASOSAS E TEOR DE CLOROFILA EM MUDAS DE AROEIRA (*Schinus terebinthifolius* Raddi) SUBMETIDAS A DIFERENTES GRAUS DE INUNDAÇÃO.

- FIGURA 1 VALORES MÉDIOS MÁXIMOS E MÍNIMOS DA UMIDADE DO AR (A) E TEMPERATURA (B) NA ESTUFA, DURANTE AS QUATRO SEMANAS APÓS INDUÇÃO DOS TRATAMENTOS..... 44
- FIGURA 2 DENSIDADE DE FLUXO DE FÓTONS FOTOSSINTETICAMENTE ATIVOS (DFFFA) DE QUATRO SEMANAS APÓS INDUÇÃO DOS TRATAMENTOS EM AROEIRA-VERMELHA. T1- TESTEMUNHA (PLANTAS IRRIGADAS DIARIAMENTE), T2- ALAGAMENTO PARCIAL (PLANTAS ALAGADAS ATÉ O COLETO) E T3- ALAGAMENTO TOTAL (PLANTAS SUBMERSAS)..... 44
- FIGURA 3 TRANSPIRAÇÃO (A); CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA (B);

FOTOSSÍNTESE (C) DE QUATRO SEMANAS APÓS INDUÇÃO DOS TRATAMENTOS EM AROEIRA-VERMELHA. T1- TESTEMUNHA (PLANTAS IRRIGADAS DIARIAMENTE), T2- ALAGAMENTO PARCIAL (PLANTAS ALAGADAS ATÉ O COLETO) E T3- ALAGAMENTO TOTAL (PLANTAS SUBMERSAS).....

47

FIGURA 4 EFICIÊNCIA INTRÍNSECA DO USO DA ÁGUA (A); CONCENTRAÇÃO INTERNA DE CO₂ (B); EFICIÊNCIA INSTANTÂNEA DE CARBOXILAÇÃO (C) DE QUATRO SEMANAS APÓS INDUÇÃO DOS TRATAMENTOS EM AROEIRA-VERMELHA. T1- TESTEMUNHA (PLANTAS IRRIGADAS DIARIAMENTE), T2- ALAGAMENTO PARCIAL (PLANTAS ALAGADAS ATÉ O COLETO) E T3- ALAGAMENTO TOTAL (PLANTAS SUBMERSAS).....

49

FIGURA 5 CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA FOLIAR APÓS TRÊS SEMANAS DA INDUÇÃO DOS TRATAMENTOS EM AROEIRA-VERMELHA. T1- TESTEMUNHA (PLANTAS IRRIGADAS DIARIAMENTE), T2- ALAGAMENTO PARCIAL (PLANTAS ALAGADAS ATÉ O COLETO) E T3- ALAGAMENTO TOTAL (PLANTAS SUBMERSAS).....

50

CAPÍTULO 3: AVALIAÇÕES DE CRESCIMENTO EM MUDAS DE AROEIRA-VERMELHA (*Schinus terebinthifolius* Raddi) SOB DIFERENTES NÍVEIS DE ALAGAMENTO

FIGURA 1 ALTURA (A), DIÂMETRO DO COLO (B), NÚMERO DE FOLHAS (C) DE DEZ SEMANAS APÓS INDUÇÃO DOS TRATAMENTOS EM AROEIRA-VERMELHA. T1- TESTEMUNHA (PLANTAS IRRIGADAS DIARIAMENTE), T2- ALAGAMENTO PARCIAL (PLANTAS ALAGADAS ATÉ O COLETO) E T3- ALAGAMENTO TOTAL (PLANTAS SUBMERSAS).....

63

FIGURA 2 BIOMASSA FRESCA TOTAL (A), BIOMASSA SECA TOTAL (B), TEOR DE ÁGUA TOTAL (C) DE DEZ SEMANAS APÓS INDUÇÃO DOS TRATAMENTOS EM AROEIRA-VERMELHA. T1- TESTEMUNHA (PLANTAS IRRIGADAS DIARIAMENTE), T2- ALAGAMENTO PARCIAL (PLANTAS ALAGADAS ATÉ O COLETO) E T3- ALAGAMENTO TOTAL (PLANTAS SUBMERSAS)..... 66

FIGURA 3 COMPRIMENTO RADICIAL (A), VOLUME RADICIAL (B) DE DEZ SEMANAS APÓS INDUÇÃO DOS TRATAMENTOS EM AROEIRA-VERMELHA. T1- TESTEMUNHA (PLANTAS IRRIGADAS DIARIAMENTE), T2- ALAGAMENTO PARCIAL (PLANTAS ALAGADAS ATÉ O COLETO) E T3- ALAGAMENTO TOTAL (PLANTAS SUBMERSAS)..... 69

CAPÍTULO 4: MORFOANATOMIA FOLIAR EM MUDAS DE *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae) SOB DIFERENTES NÍVEIS DE SATURAÇÃO HÍDRICA

FIGURA 1 ÁREA FOLIAR (AF), ÁREA ESPECÍFICA FOLIAR (AEF), ESPESSURA FOLIAR (EF), TEOR DE ÁGUA FOLIAR (TA) E DENSIDADE ESTOMÁTICA (DE) APÓS TRÊS SEMANAS DA INDUÇÃO DOS TRATAMENTOS EM MUDAS DE AROEIRA-VERMELHA. T1- TESTEMUNHA (PLANTAS IRRIGADAS DIARIAMENTE), T2- ALAGAMENTO PARCIAL (PLANTAS ALAGADAS ATÉ O COLETO) E T3- ALAGAMENTO TOTAL (PLANTAS SUBMERSAS)..... 88

FIGURA 2 ADAPTAÇÕES FENOTÍPICAS APRESENTADAS POR MUDAS DE AROEIRA-VERMELHA, AO LONGO DAS SEMANAS SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE ALAGAMENTO. FORMAÇÃO DAS LENTICELAS (A), ENGROSSAMENTO DA BASE DO CAULE (B), LENTICELAS HIPERTROFIADAS E RAÍZES ADVENTÍCIAS (C) EM T2. FORMAÇÃO DE LENTICELAS (D, E, F) EM T3. MORTE DE RAÍZES (G), DETERIORAÇÃO DAS LENTICELAS HIPERTROFIADAS (H), TENDÊNCIA AO TOMBAMENTO (I) EM

T2. EPINASTIA E ABSCISÃO FOLIAR (J), ESCURECIMENTO DO CAULE (K, L) EM T3. T2- ALAGAMENTO PARCIAL (PLANTAS ALAGADAS ATÉ O COLETO) E T3- ALAGAMENTO TOTAL (PLANTAS SUBMERSAS).....

91

FIGURA 3

CORTES ANATÔMICOS DA LÂMINA FOLIAR DE AROEIRA-VERMELHA SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE ALAGAMENTO. T1 (A-D), T2 (E-H) E T3 (I-M). DETALHE DO MESOFILO (A, E, I), DA NERVURA PRINCIPAL (B, F, J), DOS TRICOMAS SECRETORES (C, G, L), DO PARÊNQUIMA LACUNOSO (D, H, M) E DA EPIDERME ABAXIAL COM ESTÔMATO (K). OS ESTÔMATOS ESTÃO INDICADOS POR SETAS EM D, E, K. LEGENDAS: CB- CÉLULA BASAL; CC- CÉLULAS DA CABEÇA; CO- COLÊNQUIMA; CP- CÉLULA DO PESCOÇO; DS- DUCTO SECRETOR; PL- PARÊNQUIMA LACUNOSO; PP- PARÊNQUIMA PALIÇÁDICO. T1- TESTEMUNHA (PLANTAS IRRIGADAS DIARIAMENTE), T2- ALAGAMENTO PARCIAL (PLANTAS ALAGADAS ATÉ O COLETO) E T3- ALAGAMENTO TOTAL (PLANTAS SUBMERSAS).....

96

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1: CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL E ECOFISIOLÓGICA DE AROEIRA-VERMELHA EM ÁREA DE REVEGETAÇÃO ÀS MARGENS DA REPRESA IRAÍ-PR.

TABELA 1	TEORES FOLIARES MÉDIOS, RESPECTIVOS DESVIOS PADRÃO E COEFICIENTES DE VARIAÇÃO (CV%) DE AROEIRA-VERMELHA (N = 30), NA ÁREA DE REVEGETAÇÃO ÀS MARGENS DA REPRESA IRAÍ, CURITIBA-PR.....	23
TABELA 2	ANÁLISE DE SOLO EM DUAS PROFUNDIDADES NA PROJEÇÃO DA COPA DE AROEIRA-VERMELHA NA ÁREA DE REVEGETAÇÃO ÀS MARGENS DA REPRESA IRAÍ, CURITIBA-PR.	25
TABELA 3	ANÁLISE DE SOLO, ANTES DA IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO, DA ÁREA DE REVEGETAÇÃO ÀS MARGENS DA REPRESA IRAÍ, CURITIBA-PR.....	25
TABELA 4	CARACTERÍSTICAS DE FERTILIDADE DO SOLO EM DUAS PROFUNDIDADES DA ÁREA DE REVEGETAÇÃO ÀS MARGENS DA REPRESA IRAÍ, ANTES E APÓS A IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO, CURITIBA-PR.....	27

CAPÍTULO 3: AVALIAÇÕES DE CRESCIMENTO EM MUDAS DE AROEIRA-VERMELHA (*Schinus terebinthifolius* Raddi) SOB DIFERENTES NÍVEIS DE ALAGAMENTO

TABELA 1	BIOMASSA FRESCA PARTE AÉREA (BFA), BIOMASSA FRESCA RADICIAL (BFR), BIOMASSA SECA PARTE AÉREA (BSPA), BIOMASSA SECA RADICIAL (BSR), TEOR DE ÁGUA BIOMASSA PARTE AÉREA (TABA) E TEOR DE ÁGUA BIOMASSA RADICIAL (TABR), DE DEZ SEMANAS APÓS INDUÇÃO DOS TRATAMENTOS EM AROEIRA-VERMELHA. T1- TESTEMUNHA (PLANTAS IRRIGADAS DIARIAMENTE), T2- ALAGAMENTO	
----------	--	--

PARCIAL (PLANTAS ALAGADAS ATÉ O COLETO) E T3-
ALAGAMENTO TOTAL (PLANTAS SUBMERSAS).....

68

TABELA 2 DESEMPENHO DE MUDAS POR DEZ SEMANAS APÓS INDUÇÃO
DOS TRATAMENTOS. T1- TESTEMUNHA (PLANTAS IRRIGADAS
DIARIAMENTE), T2- ALAGAMENTO PARCIAL (PLANTAS
ALAGADAS ATÉ O COLETO) E T3- ALAGAMENTO TOTAL
(PLANTAS SUBMERSAS). RELAÇÃO ALTURA E DIÂMETRO DE
COLO (H/D), RELAÇÃO BIOMASSA SECA DA PARTE AÉREA E
DA PARTE RADICIAL (BSPA/BSR), RELAÇÃO ALTURA DA
PARTE AÉREA/BIOMASSA SECA DA PARTE AÉREA (H/BSPA) E
ÍNDICE DE QUALIDADE DE DICKSON (IQD).....

72

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1	APROXIMAÇÃO POR IMAGENS DE SATÉLITE DO AMBIENTE CILIAR, REPRESA IRAÍ, PARANÁ-BR.	105
ANEXO 2	ÁREA ABERTA ONDE FOI IMPLANTADO O EXPERIMENTO DE CAMPO ÀS MARGENS DA REPRESA IRAÍ, CURITIBA – PR.....	106
ANEXO 3	ÁREA IMPLANTADA (A) E PLANTA DE AROEIRA-VERMELHA (B), EXPERIMENTO DE CAMPO ÀS MARGENS DA REPRESA IRAÍ, CURITIBA – PR.....	106
ANEXO 4	ASPECTO DA ÁRVORE DE AROEIRA-VERMELHA.....	107
ANEXO 5	ASPECTO DO RAMO DE AROEIRA-VERMELHA COM SEMENTES.	107
ANEXO 6	CASA DE VEGETAÇÃO UTILIZADA PARA A PRODUÇÃO DAS MUDAS DE AROEIRA-VERMELHA, VISÃO EXTERNA (A) E VISÃO INTERNA (B), VIVEIRO DA EMBRAPA FLORESTAS COLOMBO – PR.....	108
ANEXO 7	MUDAS DE AROEIRA-VERMELHA A PLENO SOL, VIVEIRO DA EMBRAPA FLORESTAS, COLOMBO – PR.....	108
ANEXO 8	ASPECTOS DAS MUDAS DE AROEIRA-VERMELHA (A) E (B), VIVEIRO DA EMBRAPA FLORESTAS, COLOMBO - PR.....	109
ANEXO 9	ESTUFA ONDE FORAM REALIZADAS AS AVALIAÇÕES (A) E VISÃO GERAL DAS CAIXAS UTILIZADAS PARA SUBMISSÃO AOS TRATAMENTOS (B), VIVEIRO DA EMBRAPA FLORESTAS, COLOMBO – PR	109
ANEXO 10	CAIXA RECOBERTA COM PLÁSTICO EM PROCESSO DE ENCHIMENTO (A) E ARRUMAÇÃO DAS BANDEJAS COM OS TUBETES (B), VIVEIRO DA EMBRAPA FLORESTAS, COLOMBO – PR.....	

		110
ANEXO 11	ANEXO 6: CAIXA COM TRATAMENTO TESTEMUNHA (A) E MUDAS DE AROEIRA-VERMELHA SUBMETIDAS AO ALAGAMENTO PARCIAL, VIVEIRO DA EMBRAPA FLORESTAS, COLOMBO – PR	110
ANEXO 12	ANEXO 7: CAIXA COM O TRATAMENTO TOTALMENTE ALAGADO, MUDAS DE AROEIRA-VERMELHA SUBMERSAS, VIVEIRO DA EMBRAPA FLORESTAS, COLOMBO – PR	111
ANEXO 13	ANALISADOR DE GAS POR INFRAVERMELHO PORTÁTIL MODELO LC <i>PRO</i> + ADC BIOSCIENTIFIC UTILIZADO NAS AVALIAÇÕES DE TROCAS GASOSAS (A) E FOLÍOLO OCUPANDO METADE DA CÂMARA FOLIAR, VIVEIRO DA EMBRAPA FLORESTAS, COLOMBO – PR	111
ANEXO 14	ANEXO 9: COMFORMAÇÃO DAS RAÍZES APÓS SEREM RETIRADOS DO TUBETE (A) E APÓS SEREM LAVADAS (B), VIVEIRO DA EMBRAPA FLORESTAS, COLOMBO – PR. T1-TESTEMUNHA, T2- ALAGAMENTO PARCIAL E T3-ALAGAMENTO TOTAL.....	112
ANEXO 15	ESCANNER ÓPTICO ACOPLADO AO PROGRAMA IN RHIZO_ PRÓ V. 2002C, UTILIZADO PARA AS MEDIÇÕES DE COMPRIMENTO E VOLUME RADICIAL, CIÊNCIAS AGRÁRIAS, UFPR.....	112

RESUMO GERAL

Diante da grande importância dos ecossistemas ciliares e da necessidade de estudos abrangentes que envolvam características morfoanatômicas, ecofisiológicas, nutricionais e crescimento de espécies arbóreas nativas, o objetivo geral desta tese foi ampliar os conhecimentos sobre os mecanismos adaptativos da aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi), mediante do estudo de vários aspectos fisiológicos, visando uma melhor compreensão das estratégias desenvolvidas por esta espécie. Dessa forma, vindo a contribuir com dados que auxiliem os projetos de recuperação de matas ciliares no que diz respeito ao comportamento desta espécie em áreas onde é comum ocorrer variações no estado hídrico dos solos. Para tanto, esses estudos foram realizados em ambiente ciliar e em ambiente protegido. Na área de revegetação ciliar em processo de recuperação, localizada na região metropolitana de Curitiba às margens da Represa Iraí, caracterizou-se o comportamento de aroeira-vermelha em relação aos aspectos nutricionais e ecofisiológicos. Os teores de nutrientes foliares da espécie em estudo foram satisfatórios. Foram descritas as características físico-químicas nas camadas superficiais do solo. Aos dois anos de implantação, comparações com dados iniciais de análise de solo demonstraram modificações positivas no que diz respeito à fertilidade do solo. Os resultados mostraram que houve influência da sazonalidade no comportamento ecofisiológico com diferenças relacionadas à densidade de fluxo de fótons. Em ambiente protegido foram avaliadas características de morfoanatomia foliar, trocas gasosas, teor de clorofila e crescimento de mudas de aroeira-vermelha submetidas a diferentes níveis de saturação hídrica. Este experimento foi conduzido no viveiro da Embrapa Florestas em Colombo-PR, Brasil. As mudas de aroeira foram produzidas em tubetes plásticos. Aos quatro meses de idade foram submetidas aos tratamentos: T1- testemunha (plantas irrigadas diariamente), T2- alagamento parcial (plantas alagadas até o coleto) e T3- alagamento total (plantas submersas). As trocas gasosas em aroeira-vermelha indicaram um alto grau de limitação estomática da fotossíntese com a inundação. Verificou-se que mudas de aroeira-vermelha submetidas ao alagamento parcial podem sobreviver por um período duas vezes maior do que quando submersas. O crescimento das mudas também foi afetado pelo nível e tempo de alagamento, alterando parâmetros morfológicos, as relações entre estes e o índice utilizado. As mudas submetidas ao maior grau de alagamento apresentaram os menores valores para as características morfológicas e avaliação de desempenho. As mudas de aroeira-vermelha desenvolveram modificações fenotípicas adaptativas nos dois níveis de saturação hídrica avaliados. Foi observado aumento da espessura da base do caule, clorose e abscisão foliar, surgimento de lenticelas e raízes adventícias. As mudas desta espécie mostraram-se mais tolerantes ao alagamento parcial do que ao alagamento total no período de dez semanas. Para os parâmetros morfológicos avaliados após três semanas de alagamento, não foram observadas grandes modificações na morfologia das folhas, principalmente para a área foliar e AEF. Em T3, o teor de água foi maior e a espessura foliar menor. Não houve diferença entre os tratamentos para densidade estomática. Quanto aos aspectos anatômicos, observou-se uma redução na espessura do mesófilo e das nervuras, assim como a produção e compostos fenólicos por alguns tipos celulares. Os espaços intercelulares são progressivamente mais amplos nas plantas submetidas ao alagamento. Por fim, avaliando os mecanismos adaptativos de aroeira-vermelha, concluiu-se que esta espécie possui grande potencial de utilização em recuperação de áreas ciliares, em função da plasticidade fenotípica apresentada. Demonstrou-se a importância de estudos abrangentes em relação às respostas de espécies nativas, buscando uma visão integrada em termos de estratégia de ocupação e sobrevivência nos diversos ambientes.

Palavras-chave: *Schinus terebinthifolius* Raddi, aspectos fisiológicos, alagamento, mudas, revegetação ciliar.

GENERAL SUMMARY

Considering the great importance of riparian ecosystems and the need for comprehensive studies involving such characteristics as morpho-anatomic, ecophysiological, nutrition and growth of native tree species, the general aim of this thesis was to expand knowledge about the adaptive mechanisms of aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi) through the study of several physiological aspects, seeking a better understanding of the strategies developed by this species. Thus, coming to contribute with some data that could help the projects of restoration of riparian forests in relation to the behavior of this species in areas where the occurrence of variations in the water status of soils is common. To do so, these studies were conducted in riparian and in protected environments., The behavior of aroeira-vermelha in relation to ecophysiological and nutritional aspects was characterized in the area of riparian revegetation under recovery process, located in Curitiba's metropolitan area around Iraí Dam. The nutrient contents of leaf species in the study were satisfactory. We described the physical and chemical characteristics in the surface layers of soil. After two years of implantation, the comparison with initial soil analysis showed positive changes with regard to soil fertility. The results revealed the influence of seasonality on the ecophysiological behavior with differences related to photons flux density. In protected environment, characteristics were evaluated for leaf morphoanatomy, gas exchange, chlorophyll content and growth of seedlings of aroeira vermelha submitted to different levels of water saturation. This experiment was conducted at Embrapa Forest vivarium in Colombo-PR, Brazil. The seedlings of aroeira-vermelha were grown in plastic tubets. When they were four months age, they were submitted to the following treatment: T1-control (daily irrigated plants), T2-partial flooding (plants flooded until the girth) and T3- total flooding (submerged plants). The gas exchange in flooding aroeira-vermelha indicated a high degree of stomatal limitation of photosynthesis. It was found that aroeira vermelha seedlings subjected to partial flooding can survive for a twice higher period when submerged. Seedling growth was also affected by the level and duration of flooding, which caused the altering of morphological parameters, the relations between them and the index used. Seedlings subjected to a greater degree of flooding showed the lowest values for the morphological characteristics and performance evaluation. The seedlings of aroeira-vermelha developed adaptive phenotypic changes in two levels of water saturation assessed. We observed an increase in thickness of the base of the stem, leaf chlorosis and abscission, the appearance of lenticels and adventitious roots. The seedlings of this species were more tolerant to flooding than to partial flooding in the total period of ten weeks. For the morphological parameters evaluated after three weeks of flooding, there were no major changes in the morphology of the leaves, mainly to leaf area and AEF. In T3, the water content was higher and leaf thickness was lower. There was no difference between treatments for stomatal density. Regarding anatomic aspects, there was a reduction in the thickness of the mesophyll and vein, as well as production and phenolic compounds by some cell types. The intercellular spaces are progressively larger in plants subjected to flooding. Finally, evaluating the adaptive mechanisms of aroeira-vermelha, it was concluded that the species has a great potential for use in restoration of riparian areas, according to the phenotypic plasticity displayed. It was demonstrated the importance of comprehensive studies on the responses of native species, seeking an integrated strategy in terms of occupation and survival in different environments.

Keywords: *Schinus terebinthifolius* Raddi, physiological aspects, flooding, seedlings, riparian revegetation.

I. INTRODUÇÃO GERAL

I.I Restauração de matas ciliares

O processo de ocupação no Brasil caracterizou-se pela falta de planejamento e conseqüente destruição dos recursos naturais, particularmente das florestas. Ao longo da história do país, a cobertura florestal nativa representada pelos diferentes biomas foi fragmentada, cedendo espaço para as culturas agrícolas, pastagens e cidades. Neste contexto, as matas ciliares não ficaram livres da destruição.

Existe um grande aparato de leis, decretos e resoluções visando a preservação das matas ciliares. O Código Florestal (Lei n.º 4.777/65) desde 1965 inclui as matas ciliares na categoria de áreas de preservação permanente. Assim, toda a vegetação natural (arbórea ou não) presente ao longo das margens dos rios e ao redor de nascentes e de reservatórios deve ser preservada. De acordo com o artigo 2º desta lei, a largura da faixa de mata ciliar a ser preservada está relacionada com a largura do curso d'água.

Apesar da reconhecida importância ecológica do ambiente ripário, ainda mais evidente nesta virada de século, em que a água é considerada o recurso natural mais importante para a humanidade, as florestas ciliares continuam sendo eliminadas cedendo lugar para a especulação imobiliária, para a agricultura e a pecuária. Na maioria dos casos, são transformadas apenas em áreas degradadas, sem qualquer tipo de produção (MARTINS, 2001). Portanto, a recuperação de áreas degradadas se torna uma conseqüência do uso incorreto da paisagem e fundamentalmente dos solos por todo o país, sendo apenas uma tentativa limitada de remediar um dano que na maioria das vezes poderia ter sido evitado (RODRIGUES & GANDOLFI, 2001).

Segundo Lima & Zakia (2006), a zona ripária de uma microbacia que, em sua integridade, inclui a vegetação ripária e o conjunto das interações entre os componentes bióticos e abióticos constitui o ecossistema ripário. Este desempenha um dos mais importantes serviços ambientais: a manutenção dos recursos hídricos em termos de vazão e de qualidade da água, assim como do ecossistema aquático. A dinâmica da zona ripária decorre da própria hidrologia dos cursos de água, caracterizada por uma contínua e incessante variação em termos de regime de vazão, erosão dos canais, seca, cheia, microclima que resulta em condições de extrema dificuldade para a ocorrência das espécies vegetais. Esse conhecimento

atual das relações hidrológicas do ecossistema ripário é crucial para propostas de recuperação de matas ciliares.

A restauração florestal é um instrumento fundamental para a recuperação de grandes áreas degradadas, entretanto é necessário aplicar todo o conhecimento básico disponível sobre os ecossistemas naturais para tornar essa restauração sustentável. Assim, não sendo a restauração um simples reflorestamento misto de espécies arbóreas nativas, é primordial utilizar nela os conhecimentos sobre diversidade de espécies, a sua reprodução e sucessão ecológica natural, entre outros, para que sejam utilizados modelos mais adequados e sustentáveis (KAGEYAMA & GANDARA, 2005).

A recuperação ambiental admite níveis de restauração como a reabilitação (parecido com o original, por critérios como porte da vegetação e espécies) e substituição (criação de um ecossistema novo em lugar do antigo, por exemplo, um lago após atividades de uma pedreira que destruiu a floresta e seu solo). A reabilitação é geralmente o nível de recuperação desejado, na prática. O sucesso de ações de recuperação de ecossistemas degradados requer que sejam aplicadas técnicas adequadas para cada caso e local, manutenção e manejo (CARPANEZZI, 2000).

De acordo com Prado (1999), com a formação dos grandes reservatórios cria-se, nas suas margens, um grande perímetro normalmente desprovido de formações florestais. Quando existentes, estas formações são constituídas por espécies pré-existentes adaptadas a um ambiente mais seco, não resistentes a solos úmidos em função da elevação do nível do lençol freático e das oscilações do nível do reservatório. Durante o ciclo anual de variação do nível da água entre as cotas mínimas de operação das represas, a faixa de solo geralmente desnuda, denominada faixa de depleção, dificulta a implantação de uma flora litorânea variada e, por falta desta flora, as margens ficam sujeitas à erosão.

I.II Respostas fisiológicas das plantas ao alagamento

A diversidade de respostas morfológicas, anatômicas, metabólicas e ecofisiológicas observadas em plantas nativas de ambientes sujeitos à saturação hídrica sazonal ou permanente do solo, dificultam o estabelecimento de critérios para definir a tolerância ao estresse (LOBO & JOLY, 2001). Ainda segundo estes autores, está claro a necessidade de estudos enfocando a estratégia adaptativa das espécies que naturalmente ocupam estes ambientes sazonal ou permanentemente inundados. É preciso ter em mente que, ao longo do

processo evolutivo, as características fisiológicas evoluíram concomitantemente e, muito possivelmente, de forma complementar. Portanto, a sua compreensão exige estudos que abordem conjuntamente aspectos morfoanatômicos, ecofisiológicos e de crescimento, visando assim, através da pesquisa básica, gerar o conhecimento necessário para a prática da conservação e/ou manejo de fragmentos florestais.

O alagamento do solo é um tipo de estresse ambiente comum em regiões sujeitas à inundações que conferem às plantas condições de hypoxia ou anoxia em torno do sistema radicular. Altera uma série de propriedades físico-químicas do solo, produzidas por meio de processos de redução biológica e resultantes da depleção de oxigênio disponível (SCHAFFER *et al.*, 2006). Nas plantas, tais condições, desencadeiam uma série de respostas bioquímicas, fisiológicas, anatômicas e morfológicas, influenciando diretamente a sobrevivência e o crescimento (PEZESHKI, 1994; KOZLOWSKI, 1997).

Os principais efeitos adversos do alagamento em plantas lenhosas são as diminuições no crescimento do caule e das raízes, na biomassa total e na absorção de elementos minerais, mudanças na partição de assimilados e promoção da senescência e mortalidade (KOZLOWSKI, 1997). Alguns desses efeitos, como as diminuições na biomassa total têm sido verificados num grande número de espécies arbóreas tropicais, incluindo aquelas tolerantes e não-tolerantes ao alagamento (SENA GOMES & KOZLOWSKI, 1986, 1988; LARSON *et al.*, 1993; GRAVATT & KIRBY, 1998; LOPEZ & KURSAR, 1999; DAVANSO *et al.* 2002; MIELKE *et al.*, 2003; 2005a; 2005b; OJEDA *et al.*, 2004a; FERNÁNDEZ, 2006; LAVINSKY *et al.*, 2007).

As quedas verificadas no acúmulo de biomassa total das plantas podem estar relacionadas a uma série de disfunções fisiológicas, incluindo alterações nas taxas de assimilação líquida do carbono, o que pode ser atribuído à limitações estomáticas e não-estomáticas da fotossíntese (MIELKE *et al.*, 2003; LI *et al.*, 2007).

A classificação das espécies vegetais como tolerantes ou não tolerantes ao alagamento do solo é bastante ampla e pode, muitas vezes, estar incompleta se não forem consideradas as suas variações ao longo do ciclo de vida da planta (SCARANO & CRAWFORD, 1992) e a duração do estresse (CRAWFORD & BRAENDLE, 1996).

II. DESCRIÇÃO DA ESPÉCIE

Schinus terebinthifolius Raddi é uma Anacardiaceae nativa do Brasil, é popularmente conhecida como aroeira-vermelha, aroeira-pimenteira e pimenta brasileira. Esta variação nos nomes se dá, principalmente, pelo fato de seus frutos possuírem a aparência de uma pequena pimenta de coloração rosa-avermelhada, por isso, também chamados de pimenta-rosa, "pink-pepper", "poivre rose", entre outros nomes.

Ocorre de Pernambuco até o Rio Grande do Sul e Mato Grosso do Sul em várias formações vegetais, sendo comum em beira de rios, córregos e várzeas de formações secundárias, contudo, cresce também em dunas e terrenos secos e pedregosos e o seu aspecto varia muito em função de sua adaptação a esses variados ambientes, podendo se apresentar como arbustos rasteiros e retorcidos até a forma de árvore com fuste desenvolvido e copa globosa (LORENZI, 2002; BACKES; IRGANG, 2002). A aroeira-vermelha é planta nativa também no Paraguai, Uruguai e leste da Argentina (SANCHOTENE, 1989).

De acordo com Carvalho (1994), a aroeira ocorre desde o nível do mar até 2000 metros de altitude, em locais com precipitação média anual de 950 mm a 2200 mm, apresentando regime pluviométrico uniforme, sem estação seca na Região Sul a estacional com chuvas concentradas no verão nas demais regiões e estação seca até 6 meses de duração com déficit hídrico moderado na região central de Minas Gerais. Nos locais de ocorrência foram observadas temperaturas médias anual, do mês mais frio e do mês mais quente, respectivamente de 12 a 26° C, de 8 a 24°C e de 20 a 28°C, com até 57 geadas por ano.

A aroeira-vermelha possui as seguintes características morfológicas: altura de 5-10 m, com tronco de 30-60 cm de diâmetro, revestido por casca grossa. Folhas compostas imparipinadas, fortemente aromáticas, com 3-10 pares de folíolos de 10-15 cm de comprimento por 2-3 cm de largura. Inflorescências paniculadas terminais e frutos tipo drupa. Ecologicamente é classificada como planta perenifólia, heliófita e pioneira. Sua dispersão é ampla, ocorrendo desde a restinga até as florestas pluviais e semidecíduas de altitude (LORENZI, 2002).

Suas flores são melíferas e o seu florescimento ocorre predominantemente entre setembro e janeiro e a frutificação entre janeiro e julho (LORENZI, 2002), porém há grande variabilidade entre plantas, sendo, portanto difícil precisar épocas de floração e frutificação (CARVALHO, 1994). A floração da aroeira-vermelha é precoce, podendo ocorrer a partir do

primeiro ano de vida (CARVALHO, 1994). Os frutos podem permanecer na planta até a próxima floração, a qual pode ocorrer duas vezes no ano (REITZ, 1989).

Devido aos seus abundantes frutos vermelhos e o seu comportamento como espécie pioneira agressiva, a aroeira-vermelha é indicada para o reflorestamento de margens de reservatórios (REITZ; KLEIN; REIS, 1988) e encontra-se entre as espécies recomendadas para a recuperação de áreas degradadas nos estágios inicial e médio em cursos d'água de Floresta Ombrófila Mista, Floresta Estacional Decidual e Floresta Estacional Semidecidual (GLUFKE, 1999). É uma espécie potencial para revegetação (CARPANEZZI, *et al.*, 1990). Na Flórida tornou-se uma terrível invasora, sendo proibido o seu plantio (BACKES; IRGANG, 2002). Entretanto, no Brasil não se caracteriza como tal, ocorrendo em proporções incapazes de comprometer a integridade das demais espécies nativas componentes da flora (SANCHOTENE, 1989).

Em estudo realizado sobre a germinação da espécie, envolvendo luz, temperatura e água, SILVA, NAKAGAWA e FIGLIOLIA (2001), constataram que *Schinus terebinthifolius* é pouco exigente e estaria adaptada a germinar e apresentar bom desenvolvimento em áreas abertas e de pequenas clareiras. A emergência de plântulas em viveiro ocorre entre 10 e 70 dias, correspondendo à cerca de 80%, a céu aberto e em solo bem drenado. O plantio das mudas pode ser realizado a partir de 4 meses e o crescimento no campo é rápido, sendo mais intenso nos primeiros anos de vida, podendo atingir um metro de altura em um ano. Mudas com altura entre 20 e 80 cm não apresentam problemas no plantio (SANCHOTENE, 1989; CARVALHO, 1994; BACKES; IRGANG, 2002).

Sua madeira é considerada pesada ou moderadamente pesada (840 Kg/m³) e de grande durabilidade natural, podendo ser utilizada para moirões, esteios, lenha e carvão. Quando cortada rebrota tanto a partir do caule como da raiz, desenvolvendo troncos múltiplos (SANCHOTENE, 1989; CARVALHO, 1994; LORENZI, 1998; BACKES; IRGANG, 2002). A propagação pode ser feita por sementes ou por estaquia a partir de segmentos da raiz e do caule, já que ambos os órgãos vegetativos emitem brotações quando cortados (SANCHOTENE, 1989; CARVALHO, 1994).

Suas brotações jovens apresentam coloração avermelhada. As folhas da aroeira-vermelha podem causar alergia a pessoas sensíveis, porém apresentam propriedades anti-reumáticas, podendo ser mascadas para branquear os dentes. A infusão da casca é muito utilizada no curtimento do couro e no fortalecimento de redes de pesca, devido à presença de tanino. Do cerne de sua madeira obtém-se uma resina que quando dissolvida no álcool é

utilizada como anti-séptico. Na Alemanha os frutos da aroeira-vermelha são vendidos no comércio, vindos da Ilha Maurício, como substituto da pimenta-do-reino (DURATEX, 1989; SANCHOTENE, 1989; CARVALHO, 1994; LORENZI, 1998; BACKES; IRGANG, 2002).

A aroeira-vermelha possui inúmeras potencialidades medicinais e fitoquímicas. Alguns de seus metabólicos secundários têm auxiliado no tratamento e cura de diversos males (GUERRA *et al.*, 2000). Porém, atualmente, a espécie vem se destacando cada vez mais pelo consumo de seus frutos (pimenta-rosa), cuja demanda tem aumentado muito, tanto no mercado nacional como no internacional, que os utiliza como condimento alimentar.

Na atualidade, a exploração de seus frutos se restringe à coleta manual em populações naturais, presentes principalmente em áreas de restinga do litoral brasileiro. Embora seja uma espécie aparentemente pouco cultivada no Brasil, a pimenta-rosa possui um grande potencial para exploração e uso. Em viveiros, esta espécie floresce e frutifica já no primeiro ano de vida (CARVALHO, 1994), o que sugere um retorno a curto prazo para quem investir em seu cultivo. Adicionalmente, sua alta plasticidade ecológica permite-lhe ocupar diversos tipos de ambientes e formações vegetais (FLEIG & KLEIN, 1989), favorecendo e aumentando as chances de seu cultivo em diversas regiões do Brasil.

As plantas da espécie *Schinus terebinthifolius* contêm óleos essenciais amplamente distribuídos nas suas partes vegetais, tais como folhas, frutos e tronco, em teores e composições variáveis. O crescimento é extremamente rápido, sendo a dispersão por pássaros, importante para a recuperação de áreas degradadas (PALAZZO; BOTH, 1993). Resultados de análises fitoquímicas registraram a presença de alto teor de tanino, biflavonóides e ácidos triterpênicos nas cascas de *S. terebinthifolius*, e de até 5% de mono e sesquiterpenos no óleo essencial de frutos e folhas, demonstrando que alguns componentes dos óleos voláteis constituem uma proteção contra predadores e infestantes (LORENZI, 2002; MATOS, 2002).

A aroeira-vermelha apresenta atributos para usos múltiplos e potencial para associações florestais. Pode ser utilizada como suplemento alimentar de caprinos, em arborização de pastos, por ser perenifólia e se adaptar a condições adversas e ainda, devido a sua capacidade de rebrota e resistência ao fogo, como já foi constatado em exemplares na região do cerrado, pode ser utilizada em barreiras contra incêndios, desde que manejada na forma arbustiva (BAGGIO, 1988). A madeira é resistente, sendo utilizada para moirões, esteios, lenha e carvão e é empregada também na arborização urbana (SANTIN, 1989).

III. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAGGIO, A. J. Aroeira como potencial para usos múltiplos na propriedade rural. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Curitiba, n. 17, p. 25-32, 1988.
- CARPANEZZI, A. A. Benefícios Indiretos da Floresta. In: **Reflorestamento de Propriedades Rurais para fins Produtivos e Ambientais – Um Guia para Ações Municipais e Regionais**. Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, Brasília – DF, 2000.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: Recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Brasília: EMBRAPA - SPI, 1994.
- CRAWFORD, R. M. M.; BRAENDLE, R. 1996. Oxygen deprivation stress in a changing environment. **J. Exp. Bot.**, v. 47, n. 295, p. 145-159.
- DAVANSO, V. M.; SOUZA, L. A.; MEDRI, M. E.; PIMENTA, J. A.; BIANCHINI, E. Photosynthesis, growth and development of *Tabebuia avellanadae* Lor. ex Griseb. (Bignoniaceae) in flooded soil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 45:375-384, 2002.
- FLEIG, M.; KLEIN R. M. Anacardiáceas. **Flora Ilustrada Catarinense**. Itajaí-SC: 1989. 64p.
- FERNÁNDEZ, M. D. Changes in photosynthesis and fluorescence in response to flooding in emerged and submerged leaves of *Pouteria orinocoensis*. **Photosynthetica**, 44: 32-38, 2006.
- GRAVATT, D. A., KIRBY, C. J. Patterns of photosynthesis and starch allocation in seedlings of four bottomland hardwood tree species subjected to flooding. **Tree Physiology**, 18:411-417, 1998.
- GUERRA, M^a. J. M.; BARREIRO, M. L.; RODRIGUEZ, Z. M.; RUBALCADA, Y. Actividad antimicrobiana de un extracto fluido al 80% de *Schinus terebinthifolius* Raddi. Inst. Superior de Ciencias Médicas de La Habana. **Revista Cubana Plant. Med.**, v. 5, n. 1, p. 5-23, 2000.

KAGEYAMA, P. Y.; GANDARA, F. B. Resultados do programa de restauração com espécies arbóreas nativas do convênio Esalq/USP e CESP. In: **Restauração Florestal: Fundamentos e Estudos de Caso**. Embrapa Florestas, Colombo-PR, 2005.

KOZLOWSKI, T.T. Responses of woody plants to flooding and salinity. **Tree Physiol.** Mon. v.1, p. 1–29, 1997.

LARSON, K. D.; SCHAFFER, B.; DAVIES, F. S. Floodwater oxygen content, lenticel hypertrophy, and ethylene evolution from mango trees. **Journal of Experimental Botany**, 44:665-671, 1993.

LAVINSKY, A. O., SANT'ANA, C. S., MIELKE, M. S., ALMEIDA, A-A. F., GOMES, F. P., FRANÇA, S., SILVA, D. C. Effects of light availability and soil flooding on growth and photosynthetic characteristics of *Genipa americana* L. seedlings. **New Forests**, 34:41-50, 2007.

LI, M.; YANG, D.; LI, W. Leaf gas exchange characteristics and chlorophyll fluorescence of three wetland plants in response to long-term soil flooding. **Photosynthetica**, 45:222-228, 2007.

LIMA, W. de P.; ZAKIA, M. J. B. O papel do Ecosistema Ripário. In: **As Florestas Plantadas e a Água - Implementando o Conceito da Microbacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento**. São Carlos-SP. Rima, 2006.

LOBO, P. C.; JOLY, C. A. Aspectos Ecofisiológicos da vegetação de mata ciliar do Sudeste do Brasil. In: **Matas Ciliares: Conservação e Recuperação**. 2ª ed. – São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2001.

LOPEZ, O. R., KURSAR, T. A. Flood tolerance of four tropical tree species. **Tree Physiol.**, 19:925-932, 1999.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras – Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil**. Vol 1, 4ª edição, Nova Odessa, SP. Instituto Plantarum, 2002.

MARTINS S. V. **Recuperação de matas ciliares**. Aprenda Fácil Editora. Viçosa - MG, 2001.

- MATOS, F. J. A. **Farmácias vivas: sistema de utilização de plantas medicinais projetado para pequenas comunidades**. 4. ed. Fortaleza: UFC, 2002.
- MIELKE, M. S.; ALMEIDA, A-A. F.; GOMES, F. P.; AGUILAR, A. G.; MANGABEIRA, P. A. O. Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence and growth responses of *Genipa americana* seedlings to soil flooding. **Environmental and Experimental Botany**, 50:221-231, 2003.
- MIELKE, M. S., ALMEIDA, A-A. F., GOMES, F. P. Photosynthetic traits of five neotropical rainforest tree species: interactions between light response curves and leaf-to-air vapour pressure deficit. **Braz. Arch. Biol. Tech.** 48, 815-824, 2005a.
- MIELKE, M. S.; ALMEIDA, A-A. F.; GOMES, F. P.; SILVA, D. C.; MANGABEIRA, P. A. O. Effects of soil flooding on leaf gas exchange and growth of two neotropical pioneer tree species. **New Forest**, 29: 161-168, 2005b.
- OJEDA, M.; SCHAFFER, B.; DAVIES, F. S. Iron nutrition, flooding, and growth of pond apple trees. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, 117:210-215, 2004.
- PALAZZO, J. T. J.; BOTH, M. C. **Flora ornamental brasileira: um guia para o paisagismo ecológico**. Porto Alegre: Sagra: DC Luzzato, 1993.
- PEZESHKI, S.R. Wetland plant responses to soil flooding. **Environ. Exp. Bot.** v.46, p. 299–312, 2001.
- PRADO, N. J. S. Algumas ações da CEMIG em reservatórios. In: **Revista Ação Ambiental: Bacias Hidrográficas**, UFV, Viçosa-MG, v. 61, nº 03, p. 27-29, dez/1998 – jan/1999.
- RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Conceitos, Tendências e Ações para a Recuperação de Florestas Ciliares. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F.(Eds.). **Matas Ciliares: Conservação e Recuperação**. 2- ed. – São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2001.

SANTIN, D. A. **Revisão taxonômica do gênero *Astronium* Jacq. e revalidação do gênero *Myracrodruon* Fr. Allem. (*Anacardiaceae*).** 1989. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SCARANO, F.R.; CRAWFORD, R.M.M. 1992. Ontogeny and the Concept of Anoxiatolerance: the case of the Amazonian Leguminous Tree *Parkia pendula*. **Journal of Tropical Ecology** 8: 349-352.

SCHAFFER, B.; DAVIES, F. S.; CRANE, J. H. Responses of subtropical and tropical fruit trees to flooding in calcareous soil. **HortScience**, 41:549-555, 2006.

SENA GOMES, A. R.; KOSLOWSKI, T. T. Physiological and growth responses to flooding of seedlings of *Hevea brasiliensis*. **Biotropica**, 20:286-293, 1988.

SENA GOMES, A. R.; KOZLOWSKI, T. T. Effect of flooding on water relations and growth of *Theobroma cacao* var. catongo seedlings. **Journal of Horticultural Science**, 61:265-276, 1986.

IV. JUSTIFICATIVA

Esta tese se justifica por buscar uma análise mais abrangente da plasticidade fenotípica da aroeira-vermelha, mediante uma pesquisa conjunta de suas características morfoanatômicas, ecofisiológicas, nutricionais e de crescimento. Assim, com informações diversificadas sobre os aspectos fisiológicos, pode-se contribuir com os programas de recuperação de matas ciliares, gerando soluções mais eficazes, no que diz respeito ao comportamento desta espécie em ambientes com diferentes graus de hidromorfia.

V. OBJETIVO GERAL

Ampliar os conhecimentos sobre os mecanismos adaptativos de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi) Anacardiaceae, mediante o estudo de aspectos fisiológicos, visando uma melhor compreensão das estratégias desenvolvidas por esta espécie em processo de recuperação ambiental e em solos com diferentes níveis de saturação hídrica.

Objetivos Específicos:

- 1 – Caracterizar o comportamento da aroeira-vermelha em relação aos aspectos nutricionais e ecofisiológicos na área de revegetação às margens da Represa Iraí, Curitiba-PR.
- 2 - Avaliar as características da morfoanatomia foliar, trocas gasosas, teor de clorofila e crescimento em mudas de aroeira-vermelha, submetidas a diferentes níveis de saturação hídrica em ambiente protegido.

VI. ESTRUTURA DO TRABALHO

Esse trabalho visou abordar e contribuir com os aspectos fisiológicos da espécie arbórea nativa aroeira-vermelha em ambiente ciliar e ambiente protegido. Assim, são apresentados na seqüência os resultados obtidos, sendo que cada capítulo compreende um texto em formato de artigo científico da seguinte forma:

a) Aspectos fisiológicos em ambiente ciliar

- Caracterização nutricional e ecofisiológica de aroeira-vermelha em área de revegetação às margens da represa Iraí-PR.

b) Aspectos fisiológicos em ambiente protegido

- Trocas gasosas e teor de clorofila em mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) submetidas a diferentes graus de inundação.
- Avaliações de crescimento em mudas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi) sob diferentes níveis de alagamento.
- Morfoanatomia foliar em mudas de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae) sob diferentes níveis de saturação hídrica.

ASPECTOS FISIOLÓGICOS EM AMBIENTE CILIAR (CAPÍTULO 1)

CAPÍTULO 1

CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL E ECOFISIOLÓGICA DE AROEIRA-VERMELHA EM ÁREA DE REVEGETAÇÃO ÀS MARGENS DA REPRESA IRAÍ - PR

**CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL E ECOFISIOLÓGICA
DE AROEIRA-VERMELHA EM ÁREA DE REVEGETAÇÃO
ÀS MARGENS DA REPRESA IRAÍ - PR**

Resumo

O objetivo deste trabalho foi caracterizar nutricionalmente e ecofisiologicamente as plantas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi), além de descrever as diferenças físico-químicas nas camadas superficiais do solo e comparar possíveis modificações decorrentes da implantação desta espécie arbórea. A área de revegetação está localizada na região metropolitana de Curitiba – PR, às margens da represa do Rio Iraí. Foram selecionados trinta indivíduos para a medição de trocas gasosas e coleta de amostra foliar, também foram coletadas duas amostras em diferentes profundidades do solo na projeção da copa das plantas. Posteriormente realizaram-se as análises químicas e físicas. Os teores de nutrientes foliares da espécie em estudo foram satisfatórios, levando em consideração as características dendrométricas, idade e condições do local. Foram encontradas diferenças físico-químicas nas camadas superficiais do solo. Aos dois anos de implantação, comparações com dados iniciais de análise de solo demonstraram modificações positivas no que diz respeito à fertilidade do solo. Os resultados demonstraram que houve influência da sazonalidade no comportamento ecofisiológico com diferenças relacionadas à densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA). Foi possível correlacionar os índices obtidos pelas trocas gasosas com o nível de hidromorfia do solo.

Palavras-chave: *Schinus terebinthifolius* Raddi, trocas gasosas, nutrição mineral.

Abstract

**NUTRITIONAL AND ECOPHYSIOLOGICAL CHARACTERIZATION
OF AROEIRA-VERMELHA IN REVEGETATED
AREA AROUND IRAÍ DAM - PR**

The objective of this study was to characterize nutritionally and eco-physiologically the aroeira-vermelha plants (*Schinus terebinthifolius* Raddi), and describe the physical and chemical differences in the surface layers of soil. Besides that, we intended to compare possible changes resulting from the implementation of this tree species. The area of revegetation is located in the metropolitan region of Curitiba - PR, around Iraí River. Thirty healthy subjects were selected for measurement of gas exchange and collection of leaf samples. Two samples from different soil depth on the projection of tree canopy were also collected. Later there were the chemical and physical analysis. The leaf nutrient contents of species in the study were satisfactory, taking into account the dendrometrical characteristics, age and local conditions. Differences were found in the physicochemical surface layers of

soil. After two years of implantation, comparison with initial data from soil analysis showed positive changes with regard to soil fertility. The results showed the influence of seasonal ecophysiological behavior with differences related to the density of active photosynthetic photon flux (PAR). It was possible to correlate the indices obtained by gas exchange with the level of hydromorphic soil.

Keywords: *Schinus terebinthifolius* Raddi, gas exchange, mineral nutrition.

INTRODUÇÃO

Os aspectos nutricionais e as variáveis ecofisiológicas exercem grande influência, não somente no comportamento vegetativo das plantas, mas sobretudo no seu desempenho em relação à capacidade de adaptação aos ambientes que necessitam ser reestruturados. Ainda assim, são poucos os trabalhos que abordam estes aspectos, em se tratando da recomposição de ambientes ciliares.

As inundações e a saturação hídrica do solo na região neotropical ocorrem no verão, um período altamente favorável para a produção de fotossintatos nas folhas e sua subsequente translocação para atender a demanda do sistema radicular. É possível que haja uma queda da produtividade do processo fotossintético no decorrer do inverno, seja em função de temperaturas mais baixas e/ou de uma redução na radiação fotossinteticamente ativa (DFFFA), tornando inviável que a parte aérea sintetize e transloque a quantidade mínima necessária de carboidratos para atender a demanda do sistema radicular. Esta redução explicaria, por exemplo, a mortalidade de indivíduos arbóreos de espécies tolerantes à inundação observada em áreas de mata ciliar artificialmente inundadas no inverno (LOBO & JOLY, 2001).

A diversidade e a intensidade das atividades antrópicas implicam em grandes impactos sobre a vegetação, alterando sua florística, estrutura e funções (SOUZA *et al.*, 2007). A construção de reservatórios de água próximos aos grandes centros urbanos é uma realidade crescente nos dias atuais. Esse tipo de empreendimento, em geral, causa forte supressão de florestas fluviais, portanto gerando a necessidade de plantios logo acima da cota de máxima inundação que venham a compensar a mencionada supressão (CURCIO *et al.*, 2007).

Um aspecto fundamental para implantação de reflorestamentos ciliares em reservatórios é a escolha das espécies adequadas. Deve-se considerar que as matas ciliares compreendem ambientes diferentes, variando desde sítios métricos sem influência das cheias

até áreas de depleção onde as plantas ficam parcial ou totalmente submersas durante o período de cheia dos reservatórios. Portanto, a seleção adequada das espécies torna-se o ponto principal para o sucesso do plantio (PRADO, 1999).

Várias espécies pioneiras, secundárias e clímax são de ocorrência comum nas formações florestais ao longo dos cursos de água e exercem importante papel na dinâmica destes ecossistemas (RESENDE & KONDO, 2001). A aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi) pertence à família Anacardiaceae. Ecologicamente é classificada como planta perenifólia, heliófita e pioneira, comum em beira de rios, córregos e em várzeas úmidas de formações secundárias, contudo cresce também em terrenos secos e pobres. Sua dispersão é ampla, ocorrendo desde a restinga até as florestas pluviais e semidecíduas de altitude (LORENZI, 2002).

De modo geral, as espécies pioneiras têm seu potencial de crescimento mais restringido quando se desenvolvem em solos pobres (RESENDE *et al.*, 1999). Segundo Jacomine (2001), nas áreas ribeirinhas aos cursos de água, sob as formações ciliares, são encontrados diversos solos os quais variam essencialmente em função do maior ou menor grau de hidromorfismo que acontece nestes terrenos ou pela ausência deste aspecto.

Mesmo em solos naturais, o estresse nutricional pode ocorrer, as plantas ficam sujeitas a condições de disponibilidade sub ou supra-ótima em definidos nutrientes essenciais (macro ou micro nutrientes) ou não-essencial, com limitação ou redução do seu crescimento ou modificação do desenvolvimento vegetal. O suprimento inadequado de um nutriente essencial, seja por deficiência ou excesso, além de modificações no metabolismo celular, crescimento, desenvolvimento e produtividade, pode se manifestar externamente por meio de sintomas visuais de deficiência ou toxidez (CAMBRAIA, 2005).

A concentração de nutrientes é um importante indicador do estado de nutrição mineral de espécies lenhosas. A perda anual de folhas pode afetar o estado nutricional e consequentemente as funções das folhas, tais como fotossíntese e uso de água e processos como ciclagem de nutrientes (ARAÚJO & HARIDASAN, 2007).

Às margens da Represa do Rio Iraí, Região Metropolitana de Curitiba - PR, em área de estepe associada à Floresta Ombrófila Mista foram realizados plantios numa faixa de 30 m de largura ao redor do reservatório. Foram utilizadas espécies arbóreas como forma de dar início à reconstituição da flora perdida em decorrência do alagamento. Em meio a esses plantios, foi instalado um experimento com espécies nativas da região distribuídas com um critério ecológico de sucessão natural, em plantio por mudas. Neste, verificou-se a

necessidade de caracterizar nutricionalmente e ecofisiologicamente as plantas de aroeira-vermelha, além de descrever as diferenças físico-químicas nas camadas superficiais do solo e comparar possíveis modificações decorrentes da implantação desta espécie arbórea.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e caracterização da área

O estudo foi realizado nas margens da represa do Rio Iraí, situado entre os municípios de Pinhais, Piraquara e Quatro Barras – PR, localizado a 25°24'15" de latitude Sul, 49°08'38" de longitude Oeste e a 890 m de altitude. O Rio Iraí pertence à bacia hidrográfica do Rio Iguaçu e tem por finalidade suprir, com seus 58.000.000 m³, a demanda hídrica da região (CARNEIRO *et al.*, 2005).

A vegetação natural é uma associação de campos com florestas, em Cambissolo Húmico Distrófico gleissólico de textura argilosa (EMBRAPA, 2006). O local do plantio possui relevo suave ondulado com uma declividade entre 3 e 8% e foi classificado como semi-hidromórfico (CURCIO *et al.*, 2007). O plantio foi estabelecido para revegetação, com um total de 8 espécies distribuídas com um critério ecológico de sucessão natural, em plantio por mudas, sem nenhum método de intervenção, estabelecidas em parcelas monoespecíficas e sob mesmas condições ambientais. Os dados amostrados neste trabalho foram apenas para os indivíduos de aroeira-vermelha, com 30 repetições (one-tree-plot).

O histórico da área de estudo antes da revegetação inclui atividades antrópicas como a agricultura, a pecuária, a silvicultura, o desmatamento para a exploração madeireira e a expansão da urbanização, implicando numa intensa modificação nos ambientes naturais da área de estudo, com perdas na biodiversidade da vegetação florestal (SOUZA *et al.*, 2007).

Segundo dados fornecidos pelo Simepar, desde a implantação do experimento no campo até a coleta, correspondente a 24 meses, a área de estudo apresentou temperatura média de 17,9 °C, sendo o mês mais quente março de 2007 onde se registrou 21,7 °C e o mês mais frio, maio de 2006, registrando-se 13,6 °C. O mês mais chuvoso foi janeiro de 2007, com 234,2 mm e o mês menos chuvoso foi junho de 2007 com 1,4 mm, com precipitação média do período de 82,5 mm. A umidade relativa do ar apresentou média para o período de 84,6%, com extremos para o mês de abril de 2007 que apresentou 90% e o mês de agosto de

2006 com 75%. Segundo KOEPPEN, o clima da região é considerado Subtropical Úmido Mesotérmico (Cfb) (MAACK, 1981).

Seleção das plantas, coleta e análise do material foliar

Selecionaram-se trinta indivíduos de aroeira-vermelha obedecendo-se à critérios de proximidade e semelhança dendrométrica, cujos dados foram coletados com o auxílio de paquímetro digital e régua graduada. Em cada planta selecionada coletou-se uma amostra foliar no terço superior da copa. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel devidamente identificadas, e após foram lavadas com água deionizada e levadas em estufa a 60°C com ventilação de ar forçada, até adquirir peso constante. Após a secagem, as mesmas foram moídas a 0,5 mm em moinho tipo Willey e submetidas à análise química mineral de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn e Na com incineração em mufla à 500°C, e solubilizado em HCl 3 mol L⁻¹. O P foi determinado por colorimetria com vanadato-molibdato de amônio (cor amarela) e leitura em espectrofotômetro UV/VIS. A determinação de K e Na foi realizada por fotometria de emissão. Os elementos Ca, Mg, Fe, Mn, Cu e Zn por espectrofotometria de absorção atômica. Para análise de N-total foi efetuada digestão com ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado e catalizadores. A determinação do nitrogênio, foi realizada após a destilação com hidróxido de sódio, recebida em ácido sulfúrico e posteriormente titulado com NaOH. As determinações foram realizadas no Laboratório de Solos da Embrapa Florestas.

Coleta e análise de solo

Coletaram-se duas amostras de solo na projeção da copa de cada planta, de 0 até 20 cm e de 20 até 40 cm. As amostras foram agrupadas em função das características de semelhança dos solos e proximidade entre plantas estudadas, formando um total de oito amostras para cada profundidade. Após secagem a terra fina seca ao ar (TFSA) foi peneirada a 2 mm e analisada química e fisicamente (Tabela 2), no Laboratório de Solos da Embrapa Florestas, seguindo a metodologia proposta por Embrapa (1997). Na época do plantio das mudas, amostras de solo da área foram coletadas e enviadas ao Laboratório de Fertilidade e Física do Solo, do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Paraná a fim de serem avaliadas as características físico-químicas, conforme a Tabela 4.

Avaliações ecofisiológicas

Tais avaliações foram realizadas entre às 9:00 e 10:30 h, em mais de um folíolo localizado no terceiro ou quarto nó a partir do ápice de cada planta, ocupando toda a câmara foliar, em 30 indivíduos. Para essas avaliações utilizou-se um analisador portátil de gases por infravermelho modelo LCpro+ da ADC BioScientific Ltd. Assim obteve-se dados de taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), condutância estomática (gs), taxa de transpiração (E), concentração interna de CO₂ (Ci). A partir dos dados de A, gs e Ci foram determinadas as seguintes relações: $iWUE = A/gs$ e $\Phi_c = A/Ci$, que correspondem respectivamente à eficiência do uso da água intrínseca e à eficiência de carboxilação (ZHANG *et al.*, 2001). A densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) também foi medida. Foram realizadas quatro avaliações durante o inverno, entre os meses de junho a setembro.

Análise dos dados

Para os teores de nutrientes foliares foram calculadas as médias com respectivos desvios padrão e coeficientes de variação. Para as características ecofisiológicas, foram calculadas as médias e respectivos erros-padrão. As análises do solo foram interpretadas enfocando diferentes profundidades para as duas épocas de coleta de amostras, antes e após a implantação do experimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características nutricionais

O estudo do solo às margens de rios e reservatórios é importante para caracterizar suas condições hidromórficas e nutricionais definindo as espécies mais adaptáveis a estas diversas condições. A aroeira-vermelha sob condições de solo semi-hidromórfico manteve boas condições de sobrevivência e crescimento na área de estudo (CHIAMOLERA, 2008). Aos 2,5 anos de idade os valores médios de altura e diâmetro com desvio padrão dos indivíduos de aroeira-vermelha foram respectivamente, 71,53 cm \pm (25,78) e 16,55 mm \pm (4,00).

Na tabela 1 encontram-se as médias dos teores foliares verificados em campo para aroeira-vermelha. O teor dos macronutrientes analisados em ordem decrescente foi: N > Ca > K > Mg > P e de micronutrientes: Fe > Zn > Mn > Cu.

De acordo com Caldeira *et al.* (2007), estudando mudas de aroeira-vermelha produzidas em substrato e irrigação padrão, obtiveram os seguintes teores de macronutrientes em g/Kg: N (26,30), P (1,65), K (29,06), Ca (13,36), Mg (3,18).

A quantidade de nutrientes pode ser fortemente determinada pelo estágio de desenvolvimento das plantas (LARCHER, 2000). Em árvores de aroeira-vermelha dentro de uma composição de Floresta Ombrófila Mista Montana foram determinados os teores foliares de macronutrientes em g/Kg foram: N (26,46), P (1,13), K (9,91), Ca (7,50), Mg (1,81) (CALDEIRA *et al.*, 2007a) e os teores foliares de micronutrientes em mg/Kg: Cu (8,7), Mn (198,0), Fe (50,0), Zn (19,22) (CALDEIRA *et al.*, 2006).

Levando em conta que as plantas de aroeira-vermelha no campo se enquadram em uma faixa intermediária de idade em relação às citações anteriores, pode-se considerar de modo geral que os teores de nutrientes foliares apresentados foram médios para a espécie. Entretanto ressalta-se o alto teor de fósforo e magnésio e o baixo teor de potássio. O teor médio de Mn encontrado neste trabalho também foi baixo, comprovando desta forma a alta capacidade dessa espécie em sobreviver com teores de nutrientes abaixo dos ideais para seu crescimento.

Tabela 1. Teores foliares médios, respectivos desvios padrão e coeficientes de variação (CV%) de aroeira-vermelha (n = 30), na área de revegetação às margens da Represa Iraí, Curitiba-PR.

Nutriente	médias	CV (%)
N (g kg ⁻¹)	18,51 (± 6,70)	36,22
P (g kg ⁻¹)	4,27 (± 0,28)	6,58
K (g kg ⁻¹)	4,76 (± 2,03)	42,77
Ca (g kg ⁻¹)	9,54 (± 2,25)	23,60
Mg (g kg ⁻¹)	4,70 (± 1,16)	24,77
Cu (mg kg ⁻¹)	7,63 (± 3,24)	42,51
Mn (mg kg ⁻¹)	12,38 (± 4,13)	33,39
Fe (mg kg ⁻¹)	79,68 (± 36,31)	45,57
Zn (mg kg ⁻¹)	17,70 (± 5,07)	28,65

De acordo com Curcio *et al.*, (2007), o ambiente semi-hidromórfico, com declividades variando de 3–8%, é formado exclusivamente por Cambissolo Húmico Tb Distrófico gleico. Há evidências de processos de redução (gleização) no perfil entre as profundidades de 50 a 100 cm, em função da presença constante do lençol freático. Dessa forma, o solo apresenta boa capacidade de troca gasosa dentro de 50 cm de profundidade. Segundo Curcio *et al.*, (2006) as espécies hidrófilas podem apresentar desenvolvimento aparentemente normal em solos semi-hidromórficos (classe: moderadamente drenados).

Na tabela 2, encontram-se os teores médios dos elementos no solo, os quais evidenciaram diferenças para os teores de cálcio, potássio e fósforo. Os teores de cálcio e magnésio foram altos, enquanto que os teores de potássio foram baixos. Para a profundidade de 0 - 20 cm (P1), os teores dos elementos foram superiores aos da profundidade de 20 – 40 cm (P2). De acordo com Araújo & Haridasan (2007), os teores de cátions trocáveis (Ca, Mg e K) decrescem com a profundidade.

A difusão é o principal mecanismo de transporte do K até a raiz; porém, o fluxo de massa pode ter contribuição significativa no processo somente quando a concentração de K na solução do solo é elevada (RUIZ *et al.*, 1999). Os teores de fósforo foram baixos, esperava-se maior teor deste elemento no solo mais profundo, visto que a difusão tende o deslocamento do íon do local mais concentrado para outro menos concentrado. Segundo Marenco & Lopes (2009), na solução do solo, o fósforo não se movimenta em fluxo de massa, mas por difusão, o que desfavorece sua absorção. O fósforo está envolvido na transferência de energia, uma vez que o ATP é necessário para a fotossíntese, translocação e outros processos metabólicos de relevância, proporcionando a este elemento importante papel no metabolismo das plantas (TAIZ & ZEIGER, 2004).

O valor de pH encontrado nos dois tratamentos estão numa faixa aceitável, evitando grandes prejuízos causados pela acidez do solo. No setor florestal o pH deve situar-se acima de 4,5 para não tornar os nutrientes indisponíveis (CARNEIRO, 1995). Um pH baixo ou uma acidez elevada (abaixo de 5) é prejudicial, porque reduz sensivelmente a atividade de bactérias e actinomicetos e, conseqüentemente, a formação de nitratos e sulfatos diminui a disponibilidade de nitrogênio, cálcio, magnésio e potássio e provoca o aparecimento de quantidades tóxicas de alumínio, ferro e manganês. Um pH muito elevado ou elevada alcalinidade, acima de 6,5, diminui demasiadamente a disponibilidade de fósforo e micronutrientes (cobre, zinco, ferro e manganês) às plantas (MALAVOLTA & ROMERO, 1975; KAMPF, 2000).

Tabela 2. Análise de solo em duas profundidades na projeção da copa de aroeira-vermelha da área de revegetação às margens da Represa Iraí, Curitiba-PR.

Característica	P1 (0 – 20 cm)	P2 (20- 40 cm)
pH (CaCl ₂)	5,38	5,15
Al ⁺³ (cmolc/dm ³)	0,13	0,69
H ⁺ +Al ⁺³ (cmolc/dm ³)	6,40	8,09
Ca ⁺² (cmolc/dm ³)	9,16	6,31
Mg ⁺² (cmolc/dm ³)	6,85	6,47
K ⁺ (cmolc/dm ³)	0,11	0,06
P (mg/dm ³)	4,16	1,62
Ca+Mg (mg/dm ³)	16,00	12,78
C (g/ dm ³)	40,63	33,99
Areia grossa (g/100g)	0,86	0,69
Areia fina (g/100g)	1,39	1,32
Silte (g/100g)	2,86	2,75
Argila (g/100g)	4,89	5,23

Tabela 3. Análise de solo (amostra composta) antes da implantação do experimento, na área de revegetação às margens da Represa Iraí, Curitiba-PR.

Característica	0 – 20 cm	20- 40 cm
pH (CaCl ₂)	5,20	4,50
Al ⁺³ (cmolc/dm ³)	0,00	2,30
H ⁺ +Al ⁺³ (cmolc/dm ³)	6,20	9,70
Ca ⁺² (cmolc/dm ³)	5,70	1,00
Mg ⁺² (cmolc/dm ³)	3,70	2,00
K ⁺ (cmolc/dm ³)	0,06	0,04
P (mg/dm ³)	7,90	1,50
Ca+Mg (mg/dm ³)	9,40	3,00
C (g/dm ³)	37,1	19,6
Areia (g/100g)	-	2,28
Silte (g/100g)	-	2,21
Argila (g/100g)	6,50	5,50

A acidez e a deficiência ou o excesso de nutrientes estão entre as características químicas do solo que mais influenciam o desenvolvimento das raízes. Em condições de baixo

pH, o alumínio tóxico se encontra em maior quantidade e muitos nutrientes em baixa disponibilidade na solução do solo, podendo restringir o crescimento de raízes de espécies sensíveis. Porém, existem espécies que toleram altos teores de alumínio, que são pouco exigentes em nutrientes e/ou são mais eficientes em seu uso (SCHUMACHER *et al.*, 2003).

Em relação aos teores de Al foi verificado em P1 um valor considerado baixo e em P2, médio, justamente pela questão da elevação de acidez em função do aumento da profundidade. Os teores de Al são classificados como baixos para valores menores que 0,5 cmolc/dm³, médios para valores entre 0,5 e 1 cmolc/dm³ e altos quando os níveis de Al forem superior a 1 cmolc/dm³ (OLEYNIK *et al.*, 2004).

Observando a baixa disponibilidade dos elementos no solo antes da implantação do experimento (Tabela 3), podemos comparar com os dados atuais (Tabelas 2) e verificar que houveram modificações positivas no que diz respeito à fertilidade do solo. Pode-se considerar que as plantas tiveram um crescimento razoável, mesmo nas condições de deficiência de alguns nutrientes no solo como o fósforo e potássio. Portanto, fica claro o benefício do processo de revegetação e a contribuição da aroeira na ciclagem de nutrientes.

A produção de serrapilheira é parte do processo de retorno de matéria orgânica e de nutrientes para o solo florestal, sendo considerada o meio mais importante de transferência de elementos essenciais da vegetação para o solo (LARCHER, 2000).

Em relação às características de fertilidade, P1 apresentou os maiores valores (Tabela 4), fato este reconhecido por integrar o horizonte A e, conseqüentemente, com a maior quantidade de nutrientes e matéria orgânica oriundos da decomposição do material vegetal.

A quantidade de serrapilheira depositada e de nutrientes restituídos através da serrapilheira está diretamente relacionada com a fertilidade do solo (LARCHER, 2000). Resultados encontrados por Huller *et al.*, (2009), estudando os teores de nutrientes encontrados na serrapilheira de diferentes espécies nativas, demonstraram que *S. terebinthifolius* exibiu os menores teores de nutrientes na serrapilheira. A aroeira em plantios experimentais tem crescido melhor em solos de nível de fertilidade química média a elevada, bem drenados e com textura franco argilosa (CARVALHO, 1994).

A CTC observada nas duas profundidades de estudo foi bastante alta. Considerando-se que muitos cátions presentes no substrato são nutrientes, a capacidade de troca de cátions (CTC) é um indicativo de capacidade de manutenção destes nutrientes e também valiosa informação do potencial de fertilidade do substrato. O aumento da CTC está relacionado ao

aumento do conteúdo de matéria orgânica e/ou à correção do pH do substrato (CARNEIRO, 1995).

A saturação por bases evidenciada em ambos os tratamentos podem ser classificada em níveis altos. A saturação por bases, que se refere à proporção de cátions considerados básicos (Ca, Mg, K) que ocupa a CTC do solo (PREVEDELLO *et al.*, 2003), valores entre 51 e 70% são considerados médios, sendo que resultados abaixo e acima destes se enquadram em níveis baixo e alto, respectivamente (OLEYNIK *et al.*, 2004).

Tabela 4. Características de fertilidade do solo em duas profundidades na projeção da copa de aroeira-vermelha da área de revegetação às margens da Represa Iraí, antes e após a implantação do experimento, Curitiba-PR.

Característica	SB (cmolc/dm ³)	T (cmolc/dm ³)	V (%)	m (%)	Ca/Mg
P1 (ANTES)	9,46	15,66	60,0	0	1,5
P1 (APÓS)	16,12	22,52	71,58	0,80	1,34
P2 (ANTES)	3,04	12,74	24,0	43,0	0,5
P2 (APÓS)	12,84	20,93	61,34	5,01	0,97

Características Ecofisiológicas

A densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos foi menor na terceira avaliação (Figura 1).

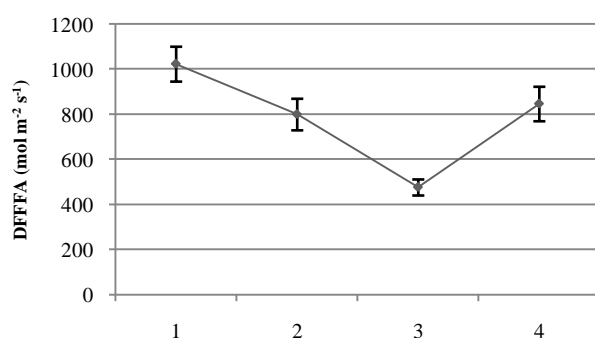


Figura 1: Densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) de quatro avaliações durante o inverno. As barras representam o erro padrão da média de 30 repetições.

Nesta mesma época os valores de transpiração e fotossíntese foram inferiores às demais avaliações (Figura 2 A e C), este conjunto de informações indicaria uma limitação estomática da fotossíntese. Em função de uma maior intensidade de radiação, as plantas tenderiam a fechar os estômatos na tentativa de diminuir a perda de água por evaporação, assim a difusão de CO_2 para câmara subestomática seria reduzida condicionando menores taxas de fotossíntese.

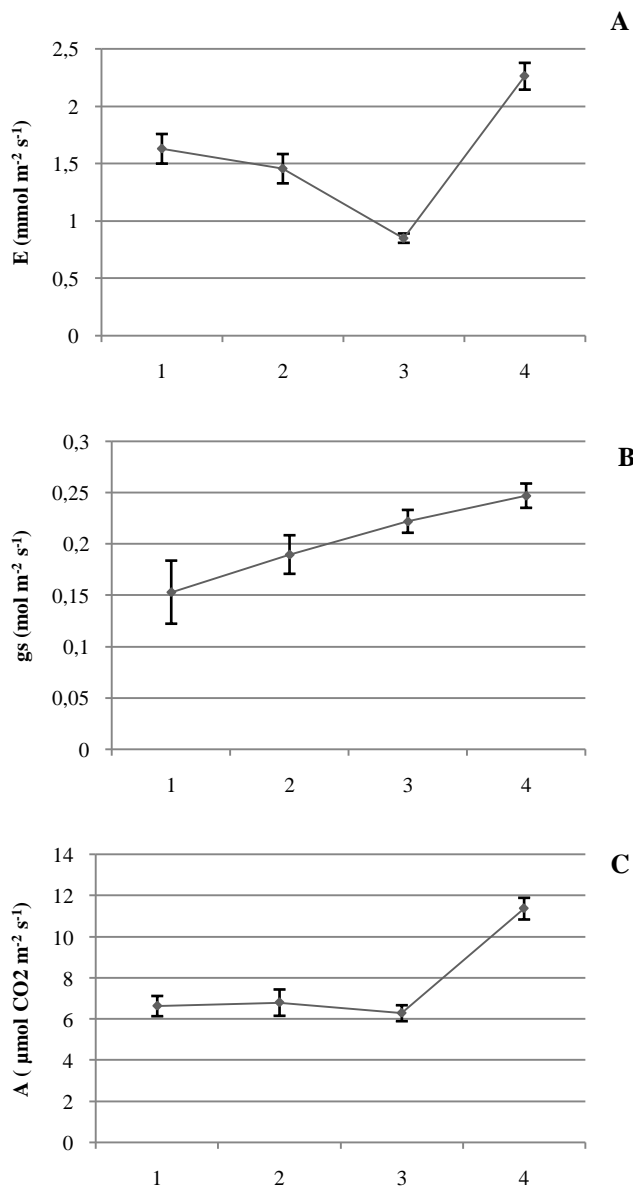


Figura 2: Transpiração (A); Condutância estomática (B); Fotossíntese (C) de quatro avaliações durante o inverno em aroeira-vermelha. As barras representam o erro padrão da média de 30 repetições.

Entretanto a condutância estomática não acompanhou esta tendência (Figura 2 B), apresentando valores maiores nesta mesma época. Dessa forma, pode-se inferir que uma restrição não-estomática tenha reduzido as taxas fotossintéticas. Para a quarta avaliação, é provável que a condutância estomática tenha contribuído no aumento da fotossíntese, uma vez que os valores para estas características foram proporcionalmente maiores quando comparado às duas primeiras avaliações.

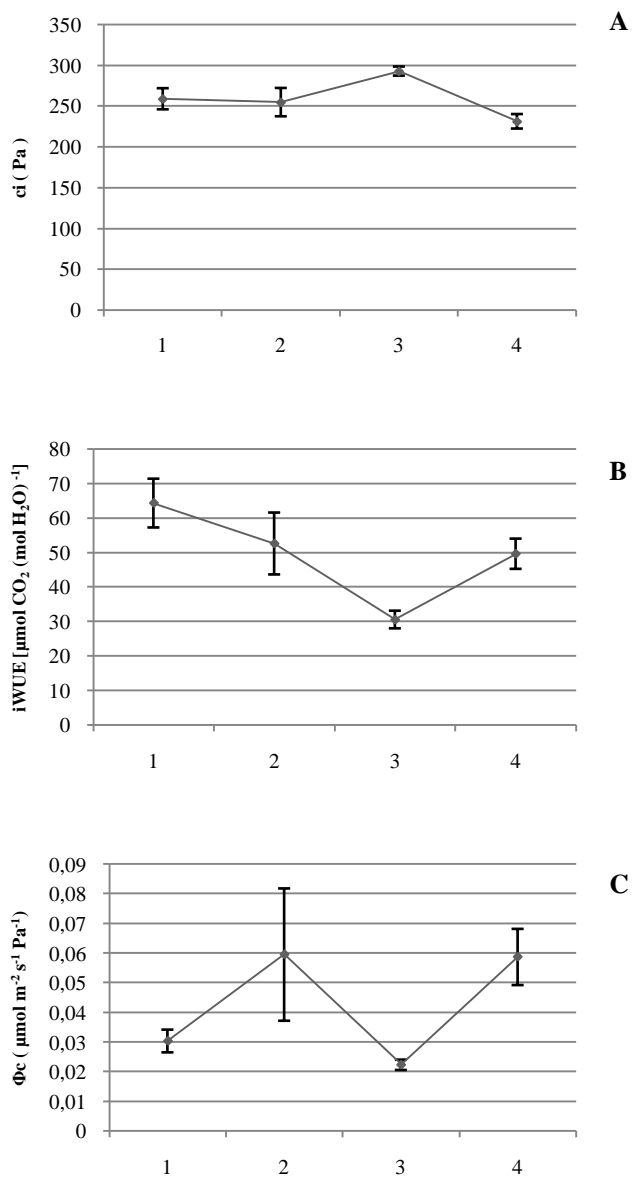


Figura 3: Eficiência intrínseca do uso da água (A); Concentração interna de CO_2 (B); Eficiência instantânea de carboxilação (C) de quatro avaliações durante o inverno em aroeira-vermelha. As barras representam o erro padrão da média de 30 repetições.

Machado *et al.*, (2005), estudando as respostas da fotossíntese a fatores ambientais, verificou que a taxa de assimilação de CO₂ e gs elevou-se com o aumento da DFFFA, sob condições naturais. O aumento da fotossíntese causou queda em Ci, possivelmente devido ao maior influxo de CO₂ através do poro estomático.

Observando as quatro épocas de avaliação, verifica-se a influência da sazonalidade no comportamento ecofisiológico com diferenças relacionadas à DFFFA. Resultados como este foram encontrados por Ewe & Sternberg (2003), comparando *Schinus terebinthifolius*, considerada espécie invasora na Flórida, com espécies nativas desta região. Estes autores verificaram uma tendência sazonal de comportamento para a aroeira.

A concentração interna de CO₂ foi maior na terceira avaliação (Figura 3 A), mostrando que houve um acúmulo de Ci pela dificuldade de realização das trocas gasosas nas plantas de aroeira-vermelha.

A eficiência instantânea de carboxilação foi menor nesta mesma época (Figura 3 C), apresentando uma queda na atividade metabólica de fixação de CO₂. Dependendo da espécie, incrementos contínuos ou abruptos na radiação luminosa podem causar efeitos deletérios na etapa fotoquímica da fotossíntese, ocasionando o fenômeno da fotoinibição; o qual, muitas vezes, leva a decréscimos significativos na assimilação líquida do carbono e no crescimento (DEMMING-ADAMS & ADAMS 1992; BALL *et al.* 1994; KRAUSE & WINTER 1996; CAI *et al.* 2005).

A eficiência intrínseca do uso da água foi menor também na terceira avaliação (Figura 3 B), confirmando as inferências anteriores. Se as taxas fotossintéticas são reduzidas a razão A/gs é baixa, com a abertura estomática há potencialmente uma maior perda de água e um controle não estomático da fotossíntese.

A maior ou menor plasticidade adaptativa das espécies às diferentes condições de radiação solar depende do ajuste de seu aparelho fotossintético, de modo a garantir maior eficiência na conversão da energia radiante em carboidratos e conseqüentemente maior crescimento (Lima *et al.*, 2005).

CONCLUSÕES

Os teores de nutrientes foliares da espécie em estudo foram satisfatórios, levando em consideração as características dendrométricas e a idade, além das condições locais. Foram encontradas diferenças nas camadas superficiais do solo em relação aos teores de cálcio, potássio e fósforo. Comparações demonstraram modificações positivas no que diz respeito à fertilidade do solo.

Houve influência da sazonalidade no comportamento ecofisiológico com diferenças relacionadas à DFFFA. Os resultados indicaram uma restrição não-estomática da fotossíntese. A adaptação ambiental da aroeira foi evidenciada na eficiência intrínseca do uso da água e na eficiência instantânea de carboxilação. Foi possível correlacionar os índices obtidos pelas trocas gasosas com o nível de hidromorfia do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, J. F.; HARIDASAN, M. Relação entre deciduidade e concentrações foliares de nutrientes em espécies lenhosas do cerrado. **Revista Brasil. Bot.**, 30 (3): 533-542. 2007.

BALL, M. C., BUTTERWORTH, J. A., RODEN, J. S., CHRISTIAN, R., EGERTON, J. G. Applications of chlorophyll fluorescence to forest ecology. **Australian Journal of Plant Physiology**, 22: 311-319, 1994.

CAI, Z.-Q., RIJKERS, T., BONGERS, F. Photosynthetic acclimation to light changes in tropical monsoon forest woody species differing in adult stature. **Tree Physiology**, 25:1023-1031, 2005.

CALDEIRA, M. V. W.; MARCOLIN, M.; MORAES, E.; SCHAADT, S. S. Influência do resíduo da indústria do algodão na formulação de substrato para produção de *Schinus terebinthifolius* Raddi, *Archontophoenix alexandrae* Wendl. et Drude e *Archontophoenix cunninghamiana* Wendl. et Drude. **Ambiência**, v.3 n.3 p.311-323. 2007.

CALDEIRA, M. V. W.; WATZLAWICK, L. F.; SOARES, R. O. V.; VALÉRIO, A. F. Teores de micronutrientes em espécies arbóreas da Floresta Ombrófila Mista Montana - General Carneiro/PR. **Ambiência**, v.2 n.1 p. 29-50, 2006.

CALDEIRA, M. V. W.; Renato Marques, WATZLAWICK, L. F.; SOARES, R. O. V. Determinação e identificação dos teores de macronutrientes nas espécies arbóreas de uma Floresta Ombrófila Mista Montana/ General Carneiro, Paraná. **Ambiência**, v.3 n.2 p. 211-239, 2007a.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF; Campos; UENF, 1995. 451 p.

CAMBRAIA, J. Aspectos bioquímicos, celulares e fisiológicos dos estresses nutricionais em plantas. In: Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas. / Eds. Rejane Mansur Custódio Nogueira, Elcida de Lima Araújo, Lília Gomes Willadino, Uided Maaze Tiburcio Cavalcante. – Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005. 500 p. il, tabs.

CARNEIRO, C.; PEGORINI, E. S.; ANDREOLLI, C. V. Introdução. In: ANDREOLLI, C. V.; CARNEIRO, C. (Eds.). **Gestão Integrada de mananciais de abastecimento entrofizados**. Curitiba: Gráfica Capital, 2005. p. 25-44.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo: Embrapa-Florestas, 1994. 640 p.

CURCIO, G. R.; BONNET, A.; PESTANA, D.; SOUZA, L.; SOCHER, L. G.; GALVÃO, F.; RODERJAN, C. V. Compartimentação topossequencial e Caracterização fitossociológica de um capão de Floresta ombrófila mista. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, (36) 3: 361-369. 2006.

CURCIO, G. R.; SOUSA, L. P.; BONNET, A.; BARDDAL, M. L. Recomendação de Espécies Arbóreas Nativas, por tipo de Solo, para Recuperação Ambiental das Margens do Rio Iraí, Pinhais, PR. **Rev. Floresta**, Curitiba, 37 (1): 113-122. 2007.

DEMMING-ADAMS, B., ADAMS, W. W. Photoprotection and other responses of plants to high light stress. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, 43: 599-626, 1992.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Embrapa: Centro Nacional de Pesquisa de Solos.. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

EWE, S. M. L.; STERNBERG, L. S. L. Seasonal gas exchange characteristics of *Schinus terebinthifolius* in a native and disturbed upland community in Everglades National Park, Florida. **Forest Ecology and Management**, v.179, p. 27-36, 2003.

JACOMINE, P. K.T. Solos sob Matas Ciliares. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F.(Eds.). **Matas Ciliares: Conservação e Recuperação**. 2ª ed. – São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2001.

KÄMPF, A. N. **Produção comercial de plantas ornamentais**. Guaíba: Agropecuária, 2000.

KRAUSE, G.H., WINTER, K. Photoinhibition of photosynthesis in plant growing in natural tropical forest gaps. A chlorophyll fluorescence study. **Botanica Acta**, 109: 456-462, 1996.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. RIMA, São Carlos. 2000.

LIMA, E. de C.; ALVAREGA, A. A. de; CASTRO, E. M. de; VIEIRA, C. V.; OLIVEIRA, H. M. de. Trocas gasosas, características das folhas e crescimento de plantas jovens de *Cupania vernalis* Camb. Submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Ciência Rural**, 35 (5): 1092-1097. 2005.

LOBO, P. C.; JOLY, C. A. Aspectos Ecofisiológicos da vegetação de mata ciliar do Sudeste do Brasil. In: **Matas Ciliares: Conservação e Recuperação**. 2ªed. – São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2001.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras – Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil**. Vol 1, 4ª edição, Nova Odessa, SP. Instituto Plantarum, 2002.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 2ª.ed. Curitiba: Ed. Olympio, 1981.

MACHADO, E. C.; SCHMIDT, P. T.; MEDINA, C. L.; RIBEIRO, R. V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, 40 (2): 1161-1170. 2005.

MALAVOLTA, E.; ROMERO, J. P. **Manual de adubação**. São Paulo: ANDA, 1975.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London: Academic Press, 1995.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia Vegetal – Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. 3ª edição, Editora UFV- 2009.

OLEYNIK, J.; BRAGAGNOLO, N.; BUBLITZ, U. ; SILVA, J. C. C. **Análise do Solo: Tabela para transformação de resultados analíticos e interpretação de resultados**. EMATER, Curitiba-PR, 2004.

PRADO, N. J. S. Algumas ações da CEMIG em reservatórios. **Revista Ação Ambiental: Bacias Hidrográficas**, UFV, Viçosa-MG, 61 (3): 27-29, 1998 – 1999.

PREVEDELLO, B. M. S.; KRIEGER, K. I.; MOTTA, A. C. V. Considerações sobre interpretação de análise de solos (com exemplos). In: LIMA, M. R. (Org.). **Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícolas**. Curitiba: Departamento de solos e engenharia agrícola-UFPR, 2003.

RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, E. A.; MUNIZ, J. A.; CURI, N.; FAQUIN, V. Crescimento inicial de espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta a doses de fósforo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, 34 (11): 2071-2081. 1999.

RESENDE, A. V. de; KONDO, M. K. Leguminosas e recuperação de áreas degradadas. **Informe Agropecuário: Recuperação de Áreas Degradadas**, EPAMIG, Belo Horizonte - MG, 22 (210): 46-56, 2001.

RUIZ, H.A.; MIRANDA, J.; CONCEIÇÃO, J.C.S. Contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e de difusão para o suprimento de K, Ca, Mg às plantas de arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 23 (4).1015-1018. 1999.

SCHUMACHER, M. V. et al. Biomassa e comprimento de raízes finas (< 2mm) em uma floresta de *Pinus elliottii* Engelm., em Santa Maria, RS. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8; 2003, São Paulo-SP. **Relação de trabalhos**. São Paulo: SBEF/SBS, 2003. n. 51. 1 CD-ROM.TAIZ, L.

SOUSA, L. P. de; ANGELO, A. C.; CURCIO, G. R.; BONNET, A.; GALVÃO, F. Recuperação ambiental em áreas de estepe do Primeiro Planalto Paranaense, mediante plantio de espécies arbóreas. **Pesq. Flor. bras.**, Colombo, n. 55, p 95-101, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Trad. Eliane Romanato Santarém. 3ª ed. Porto Alegre: ed. Artmed, 2004.

ZHANG, S.; LI, Q.; MA, K.; CHEN, L. Temperature dependent gas exchange and stomatal/non-stomatal limitation to CO₂ assimilation of *Quercus liaotungensis* under midday higher irradiance. **Photosynthetica**, Prague, v.39, p. 383-388, 2001.

ASPECTOS FISIOLÓGICOS EM AMBIENTE PROTEGIDO (CAPÍTULOS 2, 3 e 4)

CAPÍTULO 2

TROCAS GASOSAS E TEOR DE CLOROFILA EM MUDAS DE AROEIRA (*Schinus terebinthifolius* Raddi) SUBMETIDAS A DIFERENTES GRAUS DE INUNDAÇÃO

TROCAS GASOSAS E TEOR DE CLOROFILA EM MUDAS DE AROEIRA (*Schinus terebinthifolius* Raddi) SUBMETIDAS A DIFERENTES GRAUS DE INUNDAÇÃO

Resumo

Visando contribuir para a compreensão das estratégias que as plantas apresentam para sobreviver em áreas inundadas e fornecer subsídios para o aperfeiçoamento de planos de recuperação de florestas ciliares, neste trabalho objetivou-se estudar as trocas gasosas e o teor de clorofila em mudas de aroeira-vermelha submetidas a diferentes graus de inundação. O experimento foi conduzido em estufa, no viveiro da Embrapa Florestas em Colombo-PR. As mudas foram produzidas em tubetes plásticos até aos quatro meses de idade. Em seguida foram submetidas aos tratamentos: T1- testemunha (plantas irrigadas diariamente), T2- alagamento parcial (plantas alagadas até o coleto) e T3- alagamento total (plantas submersas). As avaliações de trocas gasosas foram realizadas por um período de quatro semanas, em 20 indivíduos por tratamento. Foram realizadas medidas de taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), condutância estomática (gs), taxa de transpiração (E) e concentração interna de CO₂ (Ci). Foram avaliadas a eficiência intrínseca do uso da água (iWUE) e a eficiência de carboxilação (Φc). A radiação fotossinteticamente ativa (DFFFA) também foi medida. A quantificação dos pigmentos fotossintetizantes foi realizada após três semanas da indução dos tratamentos. De modo geral foi observada a diminuição das trocas gasosas e dos teores de clorofila com o tempo e grau de inundação. Mudas de aroeira-vermelha submetidas à inundação parcial podem sobreviver por um período duas vezes maior do que quando submersas. As trocas gasosas em aroeira-vermelha indicaram um alto grau de limitação estomática da fotossíntese. Pode-se dizer que uma restrição não-estomática ocorreu em função dos menores teores de clorofila nos tratamentos alagados. Há indicação desta espécie para programas de restauração de floresta ciliar, desde que o regime hídrico da área a ser recuperada se enquadre em suas limitações ecofisiológicas adaptativas.

Palavras-chave: Aroeira-vermelha, alagamento, ecofisiologia, pigmentos fotossintetizantes

Abstract

**GAS EXCHANGE AND CHLOROPHYLL CONTENT IN AROEIRA SEEDLINGS
(*Schinus terebinthifolius* Raddi), SUBMITTED TO DIFFERENT DEGREES OF FLOOD**

In order to contribute to the understanding of strategies that plants show when they have to survive in flooded areas and to provide subsidies for the development of recovery plans for riparian forests we aimed to study in this work gas exchange and chlorophyll content in seedlings of aroeira-vermelha subjected to different degrees of flooding. The experiment was conducted on greenhouse at Embrapa Forests vivarium, in Colombo-PR. The seedlings were grown in plastic tubets up to four months old. Then they were treated: T1-control (daily irrigated plants), T2-partial flooding (flooded plants until the girth) and T3- total flooding (submerged plants). The evaluations of gas exchange were performed for a period of four

weeks with 20 samples per treatment. Rate measuring of liquid CO₂ assimilation was done (A), stomatal conductance (gs), transpiration rate (E) and internal CO₂ concentration (Ci). We evaluated the intrinsic efficiency of water use (iWUE) and carboxylation efficiency (Φ_c). The photo-synthetically active radiation (PAR) was also measured. The quantification of photosynthetic pigments was carried out after three weeks of treatment induction. Overall, it was observed the decrease of gas exchange and chlorophyll content regarding the time and degree of flooding. Aroeira-vermelha seedlings when subjected to partial flooding can survive for a twice higher period than when submerged. Gas exchange in aroeira-vermelha indicated a high degree of stomatal limitation of photosynthesis. It is possible to say that a non-stomatal limitation occurred due to lower chlorophyll content in flooded treatment. There are indications of this species for restoration programs of riparian forest, since the water regime of the area to be reclaimed fits your ecophysiological adaptive limitations.

Keywords: Aroeira-vermelha, flooding, ecophysiology, photosynthetic pigments

INTRODUÇÃO

A inundação pode causar diversas respostas em espécies arbóreas. Dentre as limitações impostas pela hipoxia, as trocas gasosas surgem como um importante aspecto fisiológico que deve ser considerado. A condutância estomática, transpiração e taxa de fotossíntese são as principais variáveis que podem ser influenciadas negativamente causando muitos prejuízos às plantas. Entretanto, as características adaptativas de cada espécie é que vão ditar os níveis destas respostas.

O termo área ripária ou ciliar tem sido utilizado para caracterizar tanto a porção do terreno que inclui a ribanceira do rio como a planície de inundação, com suas condições edáficas próprias e a vegetação que aí ocorre, a mata ripária. As zonas ripárias se caracterizam pela condição de saturação decorrente da superficialidade do lençol freático na maior parte do ano, de modo que há predomínio de espécies tipicamente adaptadas a essas condições (ZAKIA *et al.*, 2006).

Algumas alterações são observadas no desenvolvimento da parte aérea de plantas submetidas ao alagamento. O fechamento estomático e a redução na taxa fotossintética são efeitos observados em plantas arbóreas, em decorrência da deficiência de O₂ no solo. Entretanto, existem muitas variações neste padrão de resposta, seja em relação ao maior ou menor grau de tolerância da espécie, seja em relação à idade da folha e ao período de início do alagamento (LOBO & JOLY, 2001).

O alagamento do solo é considerado fator limitante para a sobrevivência das plantas que, sob seu efeito, podem apresentar alterações morfológicas (DAVANSO *et al.*, 2002) que

atuam minimizando os efeitos nocivos do alagamento. Medri *et al.*, (2002), afirmam que essas alterações podem ou não otimizar as trocas gasosas da planta com o ambiente, selecionando espécies e indivíduos de uma população, que se distribuem ao longo do gradiente de umidade e tempo de inundação.

As análises da composição e do conteúdo de pigmentos nas folhas são de grande importância em estudos de ecofisiologia vegetal, pois provêm informações importantes em relação às respostas fisiológicas das plantas aos fatores do ambiente, como radiação luminosa (VALLADARES & NIINEMETS, 2008), seca (YORDANOV *et al.*, 2000), alagamento (KOZLOWSKI, 1997; MIELKE & SCHAFFER, 2010 a ; MIELKE & SCHAFFER 2010 b; MIELKE *et al.*, 2010) e temperatura (TAULAVUORI, 2005). Tanto o encharcamento do solo como a submersão total da planta afetam a fase fotoquímica nas folhas, diminuindo as reações ao nível dos cloroplastídeos, como consequência da redução no fornecimento de energia gerada pelo fotossistema II para os processos fotossintéticos subsequentes (ISHIDA *et al.* , 2002).

Os mecanismos de difusão de O₂ para o sistema radicial pressupõe que a parte aérea esteja emersa. Vários autores estudaram as trocas gasosas em indivíduos jovens de espécies arbóreas neotropicais sob alagamento, entretanto ainda são poucos os trabalhos que enfocam o alagamento total da planta.

O estudo da tolerância a alagamentos temporários ou duradouros de espécies nativas, mediante a avaliação de trocas gasosas em mudas, pode gerar resultados que demonstrem o comportamento dessas espécies a estas condições, servindo de subsídios para projetos de implantação e recuperação de áreas florestais ciliares, pois auxiliarão na escolha de espécies adaptadas ao grau de hidromorfia dos solos.

Schinus terebinthifolius Raddi pertence à família Anacardiaceae. É uma árvore com potencial de uso múltiplos: madeireira, ornamental, medicinal, fitoquímica, sendo utilizada particularmente na arborização e na recuperação de áreas degradadas por apresentar pioneirismo e fácil adaptação (LORENZI, 2002). A aroeira-vermelha é uma espécie arbórea nativa muito utilizada em programas de recomposição florestal, principalmente no sul do Brasil. Entretanto alguns destes programas não são tão bem sucedidos, provavelmente pela falta do ajustamento dos níveis suportáveis entre planta e solo encharcado.

Visando contribuir para a compreensão das estratégias que as plantas apresentam para sobreviver em áreas inundadas e fornecer subsídios para o aperfeiçoamento de planos de recuperação de florestas ciliares, neste trabalho objetivou-se estudar as trocas gasosas e o teor

de clorofila em mudas de aroeira-vermelha submetidas a diferentes graus de inundação ao longo do tempo.

MATERIAL DE MÉTODOS

Localização do experimento e descrição dos tratamentos

O experimento foi conduzido no viveiro da Embrapa Florestas em Colombo-PR, localizado a 22° 42' 30" S e 47° 38' 00" W. G., com altitude média de 950 m. O clima é Cfb, segundo a Classificação de Köppen, com precipitação média anual de 1.600 mm. A temperatura média anual é de 16,5 °C; a temperatura média do mês mais frio é de 12,6 °C e a do mês mais quente é de 20,1 °C.

As mudas de aroeira foram produzidas em tubetes plásticos com volume de 188 cm³, contendo substrato comercial Plantmax® (90%), terra de subsolo (10%) e adubação de base para espécies florestais nativas (superfosfato simples, sulfato de amônia, cloreto de potássio e FTE BR9), dispostos em 3 bandejas metálicas com capacidade para 536 mudas, preenchidas até um terço de sua capacidade, permanecendo em casa de vegetação por quatro meses. Neste período as mudas foram adubadas por três vezes. Em seguida as mudas foram transferidas para bandejas plásticas com capacidade para 96 tubetes, sendo preenchidas até a metade de sua capacidade, de forma espaçada, e submetidas por um período a pleno sol.

Caixas de madeira medindo 3,0 m (comprimento) x 0,8 m (largura) e 0,6 m (altura) foram fabricadas para acondicionar as bandejas com os tubetes. Primeiro, as caixas que receberiam o tratamento de inundação foram recobertas por dentro com plástico. Depois que as bandejas foram dispostas dentro das caixas, uma delas foi preenchida com água até a altura do coleto das mudas e a outra cheia até a submersão das mudas com uma coluna de água de aproximadamente 15 cm. Nestas caixas as mudas foram submetidas aos tratamentos: T1- testemunha (plantas irrigadas diariamente) similar à capacidade de campo, T2- alagamento parcial (plantas alagadas até o coleto) e T3- alagamento total (plantas submersas). O delineamento experimental utilizado foi em blocos utilizando pseudo-repetições (HURLBERT, 1984). Na comparação dos três tratamentos deve-se levar em conta que as caixas diferenciavam-se apenas pelos níveis de alagamento e ausência deste, cada uma formando um único bloco e que, portanto, do ponto de vista estatístico, suas parcelas constituíam-se em pseudo-repetições. Cada tratamento foi composto de cinco repetições, cada

uma com 48 mudas. Durante o período experimental, o ensaio foi conduzido em casa de vegetação construída de material vítreo e sem climatização.

Descrição das avaliações

Por um período de quatro semanas após a indução dos tratamentos, foram realizadas avaliações a cada sete dias de trocas gasosas, entre 9:00 h e 10:30 h em um folíolo localizado no terceiro ou quarto nó a partir do ápice de cada planta. Cada folíolo ocupa metade da câmara foliar, sendo avaliados 20 indivíduos por tratamento. Para essas avaliações utilizou-se um analisador de gases portátil por infravermelho modelo LCpro+ da ADC BioScientific Ltd. Assim obteve-se dados de taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), condutância estomática (gs), taxa de transpiração (E) e concentração interna de CO₂ (Ci). A partir dos dados de A, gs e Ci foram determinadas as seguintes relações: $iWUE = A/gs$ e $\Phi_c = A/Ci$, que correspondem respectivamente à eficiência do uso da água intrínseca e à eficiência de carboxilação (ZHANG *et al.*, 2001). A densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) também foi medida. Para caracterização das condições ambientais da estufa foram feitas avaliações da umidade e temperatura do ar utilizando-se de um termoigrógrafo (Dickson TH₄), instalado lateralmente ao experimento.

Para a determinação dos pigmentos fotossintetizantes, foram feitas coletas de folhas em cinco indivíduos de cada tratamento, após três semanas sob inundação. Em cada muda foram retirados quatro folíolos próximos ao ápice caulinar, que foram imediatamente acondicionados em papel alumínio e armazenados em caixa de isopor com gelo. No laboratório, as amostras foram maceradas em 30 mL de acetona 80%, logo após o filtrado foi diluído para 50 mL e realizada a leitura em espectrofotômetro. Os teores de clorofila a, b e total foram determinados segundo equações descritas em Arnon (1949).

As análises estatísticas foram realizadas pelo Programa SAEG versão 8.0 e as comparações de médias pelo teste T a 5 % de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo das três semanas após indução dos tratamentos, as condições de umidade e temperatura da estufa onde se localizou o experimento, permaneceram praticamente constantes (Figura 1). A densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos também

permaneceu praticamente constante a partir da segunda semana (Figura 2). Na primeira semana a intensidade de radiação foi mais baixa. Os dados mostraram que na primeira e quarta semanas houve diferenças entre os tratamentos, isto pode ter influenciado os resultados das trocas gasosas ou mesmo de forma direta a condutância estomática.

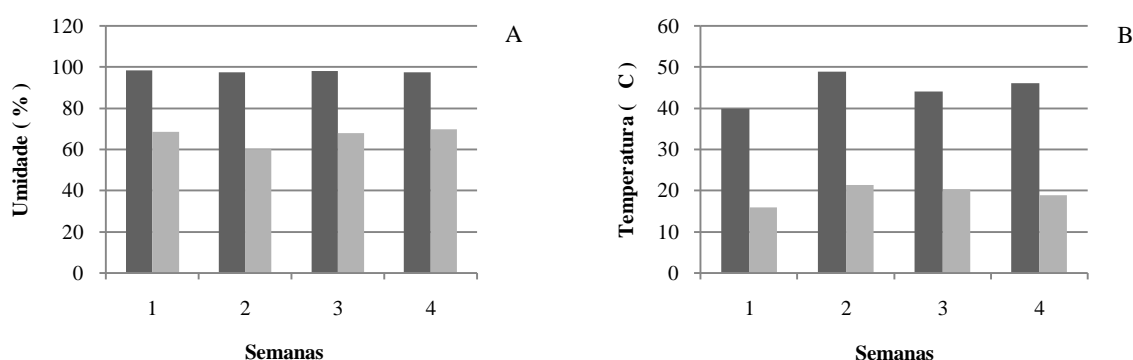


Figura 1: Valores médios máximos ■ e mínimos ■ da umidade do ar (A) e temperatura (B) na estufa durante as quatro semanas após indução dos tratamentos.

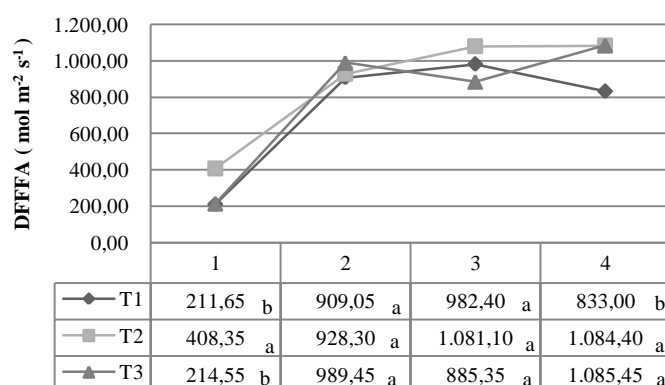


Figura 2: Densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) de quatro semanas após indução dos tratamentos. T1- testemunha (plantas irrigadas diariamente), T2- alagamento parcial (plantas alagadas até o coleto) e T3- alagamento total (plantas submersas). Valores médios seguidos de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste T, a 5% de probabilidade.

Nos valores obtidos para a transpiração (E) houve diferença estatística entre os tratamentos em todas as semanas avaliadas (Figura 3 A). Na primeira semana os tratamentos T1 e T2 não diferiram, entretanto o T3 já apresentou valores significativamente inferiores de transpiração, refletindo os efeitos do alagamento total. Na segunda semana os valores foram significativamente diferentes de forma proporcional ao nível de estresse por alagamento, ou

seja, quanto mais alagado menor a taxa de transpiração. Na terceira e quarta semanas o T2 se igualou estatisticamente ao T3 em função do tempo de submissão dos tratamentos à inundação.

Para fotossíntese (A), o comportamento estatístico foi praticamente igual ao da transpiração, exceto na segunda semana na qual o T2 ainda não apresentava diferença significativa em relação ao T1, evidenciando que nas mudas que transpiraram menos, houve aumento do fluxo de CO₂ na tentativa de manter a taxa fotossintética (Figura 3 C). Em Ipê roxo (*Tabebuia avellanedae* Lor. Ex Griseb), a taxa fotossintética decresceu conforme aumentou o tempo de alagamento (DAVANSO *et al.*, 2002).

Para a condutância estomática (gs) os tratamentos apresentaram diferença estatística a partir da segunda semana, onde apenas o T3 foi significativamente menor que os demais tratamentos (Figura 3B). Na terceira semana o T2 apresentou o menor valor médio. Este fato pode estar ligado à grande DFFFA durante as medições deste tratamento, causando o fechamento estomático para evitar a perda de água e conseqüentemente diminuindo os valores de condutância. Na quarta semana o comportamento foi similar àquele das características anteriores, onde apenas a testemunha manteve valores significativamente maiores.

O buriti (*Mauritia vinifera* Mart.), espécie adaptada a locais inundados, não apresentou redução significativa da transpiração, condutância estomática e fotossíntese, durante 36 dias de inundação (CALBO *et al.*, 1998). Batista *et al.* (2008), estudando a tolerância à inundação de imbaúba (*Cecropia pachystachya* Trec.), verificou que o alagamento provocou redução na condutância estomática nos três períodos analisados, ou seja, dois, cinco e 15 dias. A taxa fotossintética também diminuiu nas plantas submetidas ao solo alagado, sendo que com 15 dias de alagamento a redução foi mais acentuada. Estes resultados indicam que o fechamento estomático deve ter sido a causa de redução da fotossíntese, sendo provavelmente o que também aconteceu em aroeira.

Resultados diferentes foram verificados por Arruda & Calbo (2004) que, estudando os efeitos da inundação em carnaúba (*Copernicia prunifera* Mill. H. E. Moore), observaram que até o 28º dia de inundação as plantas inundadas e as plantas controle não apresentaram diferenças significativas na condutância estomática. Entretanto, a partir da primeira semana de inundação a fotossíntese líquida das plantas sob inundação apresentou redução quando comparada à de plantas controle. Tais observações indicam que a redução na condutância estomática pode diminuir a taxa de fotossíntese, mas o estresse por inundação pode afetar

diretamente o aparelho fotossintético, independentemente da condutância estomática. Neste mesmo trabalho, a transpiração em plantas inundadas não foi afetada no 35º dia de inundação.

Mielke *et al.*, (2005 a), estudando o comportamento ecofisiológico em mudas alagadas de *Rapanea ferruginea* (Ruiz & Pavon) Mez. e *Schinus terebinthifolius* Raddi, observaram que os valores de condutância estomática e fotossíntese das plantas controle estavam de acordo com os valores de árvores pioneiras de espécies tropicais em condições de campo, respectivamente $0,4 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e $14 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para *S. terebinthifolius* e $0,5 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e $14 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para *R. ferruginea*. Estes valores foram superiores aos relatados para aroeira-vermelha em T1, portanto pode-se inferir que o fator de estresse por alagamento pode variar em função da intensidade e duração, interferindo nas taxas de trocas gasosas. Ainda estes mesmos autores, para as mudas inundadas, verificaram que após seis dias de inundação, reduções significativas foram observadas em fotossíntese e condutância estomática em *R. ferruginea*. Somente após 20 dias de inundação, foram observadas reduções significativas para condutância estomática em mudas de *S. terebinthifolius*. Em relação a esta mesma variável, ocorreu o mesmo com as mudas de aroeira-vermelha submetidas ao alagamento parcial.

A diminuição na condutância estomática em mudas de árvores tolerantes e não tolerantes às inundações é uma resposta comum ao alagamento do solo (Kozłowski, 1997). Na maioria das espécies tolerantes à inundação, a diminuição inicial na condutância estomática é seguida pela recuperação, a reabertura dos estômatos está geralmente relacionada com o desenvolvimento de lenticelas hipertrofiadas ou raízes adventícias (Kozłowski *et al.*, 1980). Em seu trabalho, Mielke *et al.* (2005 a), não se verificaram a reabertura estomática até o 56º dia, com o surgimento de lenticelas hipertrofiadas em *S. terebinthifolius* e *R. ferruginea*. Igualmente aconteceu com aroeira-vermelha no presente experimento. Mesmo com o aparecimento de lenticelas hipertrofiadas e raízes adventícias, não houve recuperação nos valores de condutância estomática e sim um declínio progressivo.

Na relação A/gs, que define a eficiência intrínseca do uso da água (iWUE), de maneira geral o T3 apresentou os menores valores, fato provocado pela condição de alagamento total (Figura 4 A). Vale ressaltar que se a razão foi baixa, a fotossíntese também o foi. Em relação à abertura estomática, há potencialmente uma maior perda de água e um controle não estomático da fotossíntese.

O T2 evidenciou a melhor eficiência durante as três primeiras semanas, inclusive com valores superiores aos da testemunha, regulando bem as trocas gasosas. Apenas na quarta

semana o T2 se igualou à testemunha, quando a duração de estresse por inundação estava interferindo em sua eficiência.

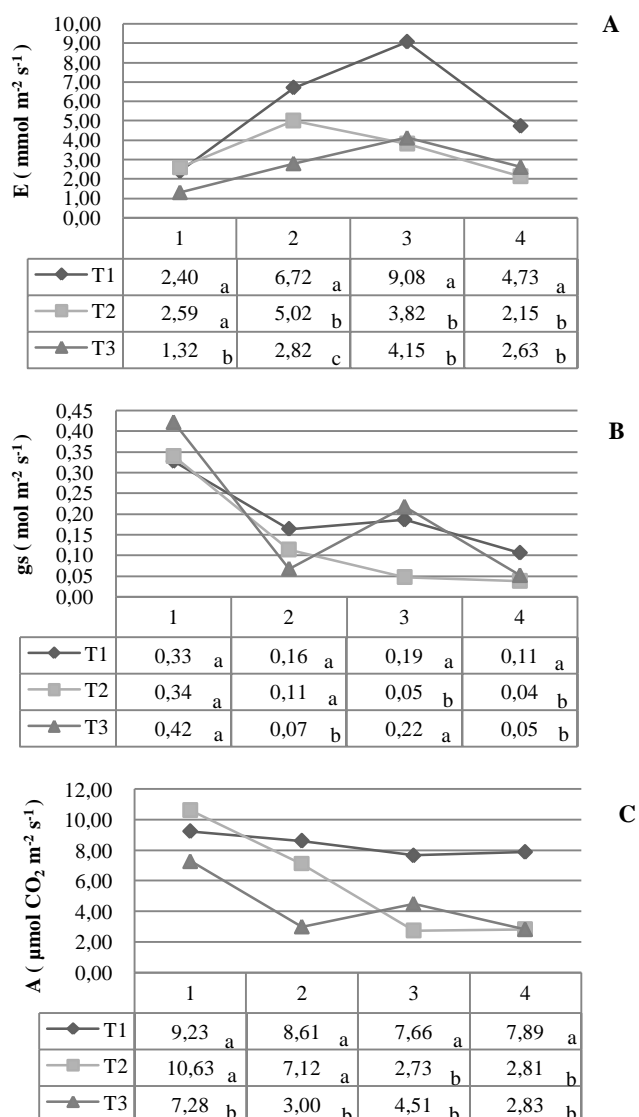


Figura 3: Transpiração (A); Condutância estomática (B); Fotossíntese (C) em aroeira-vermelha de quatro semanas após indução dos tratamentos. T1- testemunha (plantas irrigadas diariamente), T2- alagamento parcial (plantas alagadas até o coleto) e T3- alagamento total (plantas submersas). Valores médios seguidos de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste T, a 5% de probabilidade.

De forma geral, os valores de $iWUE$ foram aumentando de acordo com o tempo de inundação. Resultados similares foram obtidos por Mielke *et al.*, (2005 a), onde as mudas de *S. terebinthifolius* inundadas apresentaram incrementos na relação A/gs com valores maiores do que nas plantas controle, com o decorrer do tempo.

Para a concentração interna de CO₂ (C_i) nas quatro semanas, o T3 diferiu significativamente dos demais tratamentos apresentando os maiores valores de C_i (Figura 4 B), mostrando que houve um acúmulo de C_i pela dificuldade de realização das trocas gasosas nas plantas submersas. A eficiência instantânea de carboxilação (Φ_c) foi significativamente maior para T2 na primeira semana, para T2 e T1 na segunda semana e apenas para T1 nas semanas subseqüentes quando o alagamento provocava uma grande queda na atividade metabólica de fixação de CO₂.

Estudos de ecofisiologia de *Schinus terebinthifolius*, que no sul da Flórida é uma espécie invasora, mostraram que ocorreu diferenças significativas entre plantas alagadas e controle apenas para fotossíntese, em contraste com duas espécies nativas em ecossistemas desta região. Não houveram diferenças nos padrões de iWUE entre controle e plantas inundadas. Embora sem diferença significativa, os indivíduos controle apresentaram maior g_s, A/g_s, A/C_i que as plantas inundadas. Além disso, g_s e A/C_i mostraram uma tendência decrescente com a inundação (EWE, 2001).

Mielke *et al.*, (2005 b), estudando mudas de *Annona glabra* L. em solo alagado, observaram que os valores médios de g_s foram significativamente maiores em mudas controle do que nas mudas inundadas aos quatro dias, enquanto uma resposta oposta foi observada em dias subseqüentes até o 56°. Da mesma forma, apenas em quatro dias o valor médio de iWUE foi significativamente maior no controle do que em plântulas alagadas. Os valores médios A não diferiram significativamente entre plântulas inundadas e controles em qualquer dia de medição. Contrariamente à g_s, A não foi significativamente afetada pela inundação do solo, indicando que alagamento não afetou a fase fotoquímica e/ou bioquímica da fotossíntese.

Em relação aos teores de clorofila, o T1 diferiu significativamente dos demais tratamentos apresentando valores maiores, para clorofila a, b e total (Figura 5). Isso ocorre porque os pigmentos cloroplastídicos, como as clorofilas, estão diretamente relacionados com o processo de absorção e conversão da energia física da luz em energia química (Whitmarsh, 2000), influenciando a assimilação de carbono e o crescimento. Para T2 e T3 não houve diferença significativa. Entretanto, pode-se perceber que houve uma tendência decrescente para os valores, em função do nível de alagamento. Respostas semelhantes foram verificadas por Ishida *et al.*, (2002), os quais relataram que quando as plantas foram submersas totalmente, o teor de clorofila total reduziu de forma significativa logo nos primeiros dias da inundação.

A rápida redução da taxa líquida de fotossíntese das plantas submetidas ao alagamento pode ser atribuído ao fechamento dos estômatos (Kozłowski, 1997). Mas, em períodos de

tempo relativamente longos, limitações não-estomáticas da fotossíntese, destacadas por alterações nas enzimas do ciclo de Calvin e a degradação dos pigmentos clorofilianos devem ser os principais fatores associados com diminuições na eficiência de carboxilação e no rendimento quântico aparente da fotossíntese das plantas sob condições de inundação (Pezeshki, 2001).

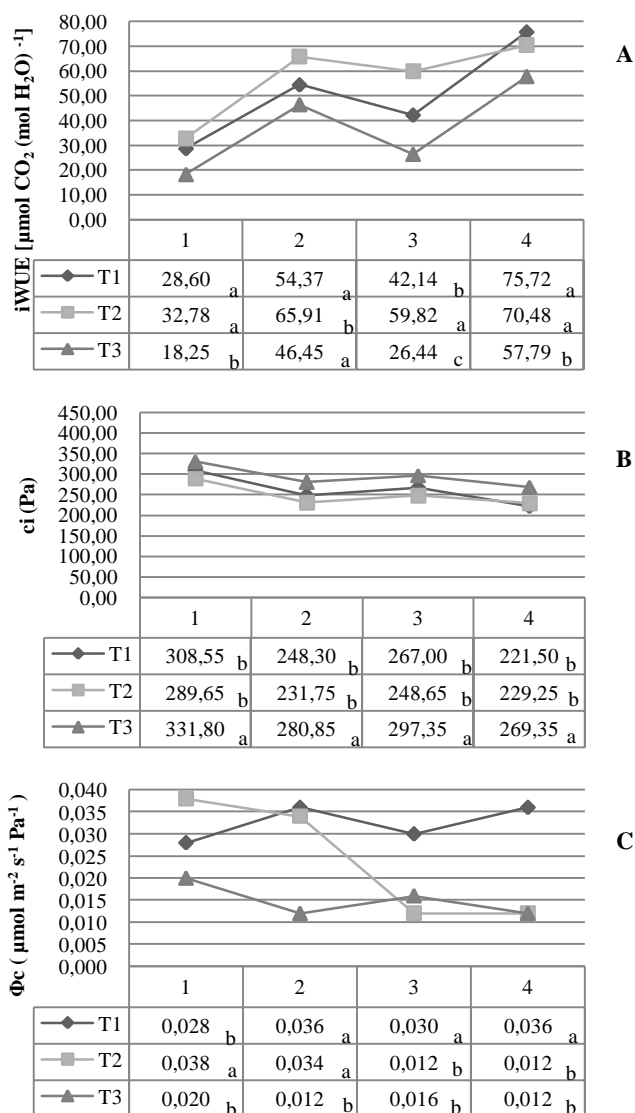


Figura 4: Eficiência intrínseca do uso da água (A); Concentração interna de CO₂ (B); Eficiência instantânea de carboxilação (C) de quatro semanas após indução dos tratamentos em aroeira-vermelha. T1- testemunha (plantas irrigadas diariamente), T2- alagamento parcial (plantas alagadas até o coleto) e T3- alagamento total (plantas submersas). Valores médios seguidos de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste T, a 5% de probabilidade.

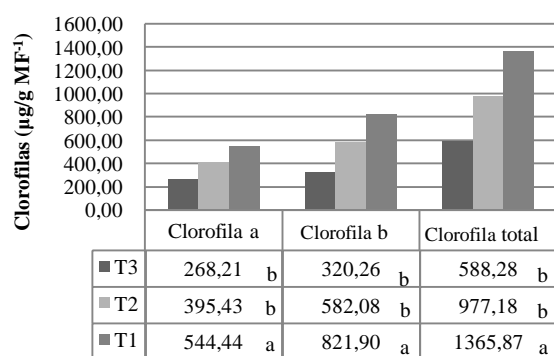


Figura 5: Concentração de clorofila foliar em aroeira após três semanas da indução dos tratamentos. T1- testemunha (plantas irrigadas diariamente), T2- alagamento parcial (plantas alagadas até o coleto) e T3- alagamento total (plantas submersas). Valores médios seguidos de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste T, a 5% de probabilidade.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados, de modo geral foi observada a diminuição das trocas gasosas e dos teores de clorofila com o tempo e grau de inundação. A partir de modificações nas trocas gasosas, pode-se inferir para as condições deste experimento, que mudas de aroeira-vermelha podem se adaptar às condições de inundação periódica ou permanente a depender do grau de inundação e período de submissão à este tipo de estresse.

Para condições de alagamento total, a aroeira-vermelha se mostrou tolerante podendo sobreviver a períodos de alagamento de até 14 dias e para condições de alagamento parcial, está apta a suportar satisfatoriamente períodos maiores de tempo, em torno de 28 dias.

As trocas gasosas em aroeira-vermelha indicaram um alto grau de limitação estomática da fotossíntese. Pode-se dizer que uma restrição não-estomática ocorreu em função dos menores teores de clorofila nos tratamentos sob alagamento. Há indicação desta espécie para programas de restauração de floresta ciliar, desde que o regime hídrico da área a ser recuperada se enquadre em suas limitações ecofisiológicas adaptativas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRUDA, G. M. T.; CALBO, M. E. R. Efeitos da inundação no crescimento, trocas gasosas e porosidade radicular da carnaúba (*Copernicia prunifera* (Mill.) H.E. Moore). **Acta bot. bras.** 18 (2) 219-224. 2004.

ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, Rockville, 24 (1) 01-15. 1949.

BATISTA, C. U. N.; MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; MEDRI, C.; PIMENTA, J. A. Tolerância à inundação de *Cecropia pachystachya* Trec. (Cecropiaceae): aspectos ecofisiológicos e morfoanatômicos. **Acta bot. bras.** 22 (1) 91-98. 2008.

CALBO, M. E. R.; MORAES, J. A. P. V.; CALBO, A. G. Crescimento, condutância estomática, fotossíntese e porosidade do buriti sob inundação. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 10 (1) 51-58. 1998.

DAVANSO, V. M.; SOUZA, L. A.; MEDRI, M. E.; PIMENTA, J. A.; BIANCHINI, E. Photosynthesis, Growth and Development of *Tabebuia avellanedae* Lor. Ex Griseb. (Bignoniaceae) in Flooded Soil. **Braz. Arch. Biol. Technol.**, 45 (3). 375-384. 2002.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.

EWE, S. **Ecophysiology of *Schinus terebinthifolius* contrasted with native species in two South Florida ecosystems**. SERC Dissertations & Theses. Florida International University, Southeast Environmental, Research Center, 2001.

HURLBERT, S.H. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. **Ecological Monographs** 54: 187-211. 1984.

ISHIDA, F. Y.; OLIVEIRA, L. E. M; CARVALHO, C. J. R.; ALVES, J. D. Efeitos da inundação parcial e total sobre o crescimento, teor de clorofila e fluorescência de *Setaria anceps* e *Paspalum repens*. **Revista Ciência Agrotec.**, Lavras. 26(6)1152-1159, nov./dez., 2002.

JOSÉ, A. C.; DAVIDE, A. C.; OLIVEIRA, S. L. Produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) para recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita. **Cerne**, Lavras, 11(2) 187-196, abr./jun. 2005.

KOZLOWSKI, T.T. Responses of woody plants to flooding and salinity. **Tree Physiol.** Mon. v.1, p. 1–29, 1997.

SENA GOMES A.R. and KOZLOWSKI T.T. Growth responses and adaptations of *Fraxinus pennsylvanica* seedlings to flooding. **Plant Physiol.** 66: 267–271.1980.

LOBO, P. C.; JOLY, C. A. Aspectos Ecofisiológicos da vegetação de mata ciliar do Sudeste do Brasil. In: **Matas Ciliares: Conservação e Recuperação**. 2ªed. – São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2001.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras – Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil**. Vol 1, 4ª edição, Nova Odessa, SP. Instituto Plantarum, 2002.

MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J. A.; COLLI, S.; MULLER, C. Estudos sobre a tolerância ao alagamento em espécies arbóreas nativas da bacia do rio Tibagi. In: A bacia do Rio Tibagi. 1 ed. Londrina, PR, p 133-172, 2002.

MIELKE, M. S.; ALMEIDA, A. F. de; GOMES, F. P.; MANGABEIRA, P. A. O.; SILVA, D. da C. Effects of soil flooding on leaf gas exchange and growth of two neotropical pioneer tree species. **New Forest**, v. 29, p. 161-168, 2005 a.

MIELKE, M. S.; ALMEIDA, A. F. de, GOMES, F. P.; MANGABEIRA, P. A. O.; SILVA, D. da C. Some photosynthetic and growth responses of *Annona glabra* L. seedlings to soil flooding. **Acta bot. bras.** v.19(4), p. 905-911, 2005 b.

MIELKE, M.S., SCHAFFER, B. Photosynthetic and growth responses of *Eugenia uniflora* L. seedlings to shade and soil flooding. **Environ. Exp. Bot.** 68:113–121, 2010 a.

- MIELKE, M.S., SCHAFFER, B. Leaf gas exchange and pigment contents of *Eugenia uniflora* L. seedlings influenced by changes in light intensity and soil flooding. *Tree Physiol.* 30, 45-55, 2010 b.
- MIELKE, M.S., SCHAFFER, B., LI, C. Use of a SPAD meter to estimate chlorophyll content in *Eugenia uniflora* L. leaves as affected by contrasting light environments and soil flooding. *Photosynthetica* 48, in press, 2010.
- PEZESHKI, S.R. Wetland plant responses to soil flooding. **Environ. Exp. Bot.** v.46, p. 299–312, 2001.
- TAULAVUORI, K. A simple method to visualize the mechanism why *Alnus glutinosa* remains green during autumn colouration of *Sorbus aucuparia*. **Trees – Structure and Function** 20, 28-33, 2006.
- VALLADARES, F., NIINEMETS, U. Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. **Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.** 39, 237-257, 2008.
- WHITMARSH, J. Electorn transport and energy transduction In: RAGHAVENDRA, A.S. (Ed), **Photosynthesis: a Comprehensive Treatise**. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 87-107, 2000.
- YORDANOV, I., VELIKOVA, V., TSONEV, T. Plant responses to drought, acclimation, and stress tolerance. **Photosynthetica** 38, 171-186, 2000.
- ZAKIA, M. J. B.; FERRAZ, F. F. B.; RIGHETTO, A. M.; LIMA, W. de P. Delimitação da Zona Ripária em uma Microbacia. In: **As Florestas Plantadas e a Água - Implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento**. São Carlos-SP. Rima, 2006.

ZHANG, S.; LI, Q.; MA, K.; CHEN, L. Temperature dependent gas exchange and stomatal/non-stomatal limitation to CO₂ assimilation of *Quercus liaotungensis* under midday higher irradiance. **Photosynthetica**, Prague, v.39, p. 383-388, 2001.

CAPÍTULO 3

**AVALIAÇÕES DE CRESCIMENTO EM MUDAS DE AROEIRA-VERMELHA
(*Schinus terebinthifolius* Raddi) SOB DIFERENTES NÍVEIS DE ALAGAMENTO**

**AVALIAÇÕES DE CRESCIMENTO EM MUDAS DE AROEIRA-VERMELHA
(*Schinus terebinthifolius* Raddi) SOB DIFERENTES NÍVEIS DE ALAGAMENTO**

Resumo

Este estudo teve como objetivo avaliar o crescimento e a qualidade de mudas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi) em casa de vegetação, ao longo do tempo de submissão a diferentes níveis de alagamento. O experimento foi conduzido no viveiro da Embrapa Florestas em Colombo-PR, em estufa. As mudas foram produzidas em tubetes plásticos, até aos quatro meses de idade. Em seguida foram submetidas aos tratamentos: T1- testemunha (plantas irrigadas diariamente), T2- alagamento parcial (plantas alagadas até o coleto) e T3- alagamento total (plantas submersas). As avaliações de crescimento foram realizadas semanalmente por um período de 10 semanas, em 20 indivíduos por tratamento. Foram realizadas as medidas de altura da parte aérea; diâmetro ao nível do colo; número de folhas; biomassa fresca e seca da parte aérea, radicial e total; teor de água; comprimento e volume radicial. Foram calculados as seguintes relações de desempenho de mudas: relação altura da parte aérea/diâmetro de colo (H/DC), relação biomassa seca da parte aérea/biomassa seca de raízes (BSPA/BSR), relação altura da parte aérea/biomassa seca da parte aérea (H/BSPA) e o índice de Dickson (IQD). As mudas desenvolvidas sob maior nível de alagamento apresentaram os menores valores de crescimento e para avaliação do desempenho de mudas. Para o teor de água foi verificado o inverso, o T3 apresentou os maiores valores. O crescimento e a qualidade das mudas foram afetados pelo nível de alagamento e período de permanência sob esta condição, alterando os parâmetros morfológicos, as relações entre estes e o índice utilizado na avaliação.

Palavras-chave: Parâmetros morfológicos, desempenho de mudas, índices, adaptação.

Abstract

**EVALUATIONS OF GROWTH IN SEEDLINGS OF AROEIRA-VERMELHA
(*Schinus terebinthifolius* Raddi) UNDER DIFFERENT LEVELS OF FLOODING**

This study aimed to evaluate the growth and quality of aroeira-vermelha seedlings (*Schinus terebinthifolius* Raddi) in a greenhouse during the time of submission to different levels of flooding. The experiment was conducted at Embrapa Forests vivarium, in Colombo-PR, in a greenhouse. The seedlings were grown in plastic tubets up to four months old. Then were treated: T1-control (daily irrigated plants), T2-partial flooding (flooded plants until the girth) and T3- total flooding (submerged plants). Growth evaluations were performed weekly for a period of 10 weeks with 20 samples per treatment. Some measures were done, such as the airy part, diameter at the neck level, leaf number, fresh and dry biomass of the airy part,

totaland from the root, water content, length and volume of the roots. The following ratios of performance of seedlings were calculated: height ratio of airy part / root collar diameter (H / D), ratio of dry biomass of airy part/ dry biomass of roots (BSPA / BSR), ratio of airy part height / dry biomass of airy parts (H / BSPA) and Dickson index (IQD). The seedlings grown under higher degree of flooding showed the lowest values of growth for performance evaluation of seedlings. For the water content the reverse was verified, T3 showed the highest values. The growth and quality of the seedlings were affected by the level of flooding and the period of stay under this condition, changing the morphological parameters, the relations between them and the index used in the assessment.

Keywords: Morphological parameters, seedling performance, index, adaptation.

INTRODUÇÃO

O alagamento é um fator limitante do crescimento de inúmeras espécies vegetais e consequentemente pode acarretar perda na qualidade das mudas submetidas a este tipo de estresse. Sendo assim, torna-se fundamental o estudo da tolerância a alagamentos temporários ou duradouros de espécies nativas, mediante características de crescimento e qualidade em mudas. Resultados que demonstrem o comportamento dessas espécies a estas condições servirão para subsidiar projetos de implantação e recuperação de áreas florestais ciliares, pois auxiliam no delineamento dos plantios respeitando a aptidão das espécies em relação ao teor de umidade do solo.

Diante dos esforços na implantação de projetos de reposição de cobertura vegetal são de grande importância os estudos que envolvam as respostas de espécies nativas às condições de alagamento. Informações a este respeito podem auxiliar os processos de restauração da vegetação ciliar nestas áreas, onde é comum ocorrer variações no estado hídrico dos solos, com modificações severas nas concentrações de oxigênio disponível para as raízes, requerendo das plantas respostas rápidas às novas condições impostas (SANTIAGO & PAOLI, 2007).

O direcionamento de plantio de espécies arbóreas nativas conforme o seu grau de adaptabilidade aos diferentes regimes hídricos dos solos possibilita uma sensível redução de custos, principalmente nas operações de replantio e de manutenção das mudas (CURCIO *et al.*, 2007).

O bom desempenho das mudas é um dos fatores básicos para a obtenção de povoamentos de alta produtividade. Ela se expressa tanto por características morfológicas como fisiológicas e nutricionais, e é resultante tanto de fatores genéticos como de

procedimentos de manejo do viveiro. Em função da necessidade de se ter mudas de qualidade para que o estabelecimento dessas plantas no campo obtenha sucesso, vários critérios têm sido definidos para qualificá-las (SILVA, 1998).

Os critérios para a classificação do desempenho de mudas baseiam-se, fundamentalmente, em duas premissas de elevada importância: aumento do percentual de sobrevivência das mudas após o plantio e diminuição da frequência dos tratos culturais de manutenção do povoamento recém plantado. Até o momento a atenção tem sido dirigida para os parâmetros morfológicos das mudas como: altura, diâmetro de colo, maturação da parte aérea e desenvolvimento do sistema radicial. Estas características são de fácil avaliação e podem dar boas prescrições de qualificação (CARNEIRO, 1995).

Segundo Novaes (1998), uma muda de alta qualidade deve condizer de forma eficaz às novas tecnologias adotadas, suportar as adversidades do meio, apresentar altos percentuais de sobrevivência no campo, possibilitar a diminuição da frequência dos tratos culturais do povoamento recém-implantado e também produzir árvores com volume e qualidades desejáveis.

No estágio atual do conhecimento em relação às espécies neotropicais, seria recomendável uma homogeneização dos critérios, considerando como tolerantes apenas aquelas espécies que conseguem manter ou incrementar a massa seca da parte aérea quando submetidas ao estresse por períodos comparáveis aos que estariam sujeitas em seu habitat. Esta característica é imprescindível para assegurar uma vantagem competitiva que dê aos indivíduos desta espécie condições de se estabelecer com sucesso em áreas sujeitas à inundações (LOBO & JOLY, 2001).

Os parâmetros morfológicos e as relações utilizadas para avaliação da qualidade das mudas não devem ser utilizados isoladamente para classificação do seu padrão da qualidade, a fim de que não corra o risco de selecionar mudas mais altas, porém fracas, descartando as de menor tamanho mas com maior vigor (FONSECA *et al.*, 2002).

A aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi) pertence à família Anacardiaceae, é uma árvore que apresenta atributos para usos múltiplos. Por apresentar pioneirismo e plasticidade, possui grande potencial de utilização em programas de reflorestamentos ambientais e recuperação de áreas degradadas.

Neste sentido, o estudo teve como objetivo avaliar o crescimento e a qualidade de mudas de aroeira-vermelha em estufa ao longo do tempo de submissão a diferentes níveis de alagamento.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização do experimento e descrição dos tratamentos

O experimento foi conduzido no viveiro da Embrapa Florestas em Colombo-PR, localizado a 22° 42' 30" S e 47° 38' 00" W. G., com altitude média de 950 m. O clima é Cfb, segundo a Classificação de Köppen, com precipitação média anual de 1.600 mm. A temperatura média anual é de 16,5 °C; temperatura média do mês mais frio é de 12,6 °C e a do mês mais quente é de 20,1 °C.

As mudas de aroeira foram produzidas em tubetes plásticos com volume de 188 cm³, contendo substrato comercial Plantmax® (90%), terra de subsolo (10%) e adubação de base para espécies florestais nativas (superfosfato simples, sulfato de amônia, cloreto de potássio e FTE BR9), dispostos em 3 bandejas metálicas com capacidade para 536 mudas, preenchidas até um terço de sua capacidade, permanecendo em estufa por quatro meses. Neste período as mudas foram adubadas por três vezes. Em seguida as mudas foram transferidas para bandejas plásticas com capacidade para 96 tubetes, sendo preenchidas até a metade de sua capacidade, de forma espaçada, e submetidas por um período a pleno sol.

Caixas de madeira medindo 3,0 m (comprimento) x 0,8 m (largura) e 0,6 m (altura) foram fabricadas para acondicionar as bandejas com os tubetes. Primeiro as caixas que receberiam o tratamento de inundação foram recobertas por dentro com plástico, depois que as bandejas foram dispostas dentro das caixas, uma delas foi preenchida com água até a altura do coleto das mudas e a outra cheia até a submersão das mudas com uma coluna de água de aproximadamente 15 centímetros. Nestas caixas as mudas foram submetidas aos tratamentos: T1- testemunha (plantas irrigadas diariamente) similar à capacidade de campo, T2- alagamento parcial (plantas alagadas até o coleto) e T3- alagamento total (plantas submersas). O delineamento experimental utilizado foi em blocos utilizando pseudo-repetições (HURLBERT, 1984). Na comparação dos três tratamentos deve-se levar em conta que as caixas diferenciavam-se apenas pelos níveis de alagamento e ausência deste, cada uma formando um único bloco e que, portanto, do ponto de vista estatístico, suas parcelas constituíam-se em pseudo-repetições. Cada tratamento foi composto de cinco repetições, cada uma com 48 mudas. Durante o período experimental o ensaio foi conduzido em estufa construída de material vítreo e sem climatização.

Descrição das avaliações

As avaliações de crescimento foram realizadas semanalmente por um período de dez semanas, sendo 20 indivíduos por tratamento, seqüencialmente de forma destrutiva. Foram realizadas as medidas de altura da parte aérea, diâmetro ao nível do colo, número de folhas, biomassa fresca e seca da parte aérea, radicial e total. Para a determinação desses parâmetros, foi utilizada a metodologia segundo Novaes (1998). O teor de água foi calculado pela representatividade percentual da diferença entre a massa fresca e a massa seca em relação à massa fresca da parte aérea, radicial e total.

O comprimento e volume radicial foram obtidos mediante scanner óptico acoplado ao programa Win Rhizo_ pró v. 2002c (RÉGENT INSTRUMENTS INC., 2007).

Foram calculados os seguintes índices de qualidade de mudas: relação altura da parte aérea/diâmetro de colo (H/DC), relação biomassa seca da parte aérea/biomassa seca de raízes (BSPA/BSR), relação altura da parte aérea/biomassa seca da parte aérea (H/BSPA) e o índice de qualidade de Dickson (IQD), o qual foi determinado pela fórmula descrita por Dickson *et al.*, (1960). Para o cálculo destes índices foram utilizados dados das mesmas mudas que foram submetidas às análises destrutivas, correspondendo altura, diâmetro de colo e biomassas secas a cada muda respectivamente. As análises estatísticas foram realizadas pelo Programa SAEG versão 8.0, e as comparações de médias pelo teste t a 5 % de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para altura da parte aérea e diâmetro ao nível do colo foi observado um comportamento estatístico similar (Figura 1 A e B). De modo geral, houve crescimento nos tratamentos T1 e T2 durante o período experimental, menos para altura da parte aérea do T3. Na primeira e segunda semana não houve diferença significativa. A partir da terceira até a décima avaliação o T3 apresentou valores estatisticamente inferiores a T2 e T1, para cada semana. De acordo com Kozlowski (1997), o crescimento da parte aérea é diminuído porque o alagamento afeta a formação de novas folhas, bem como a expansão foliar e dos entrenós, induzindo a senescência prematura das folhas existentes e a abscisão foliar.

A altura da parte aérea é um excelente parâmetro para avaliar o padrão da qualidade de mudas de espécies florestais. É de fácil determinação para qualquer espécie e em todo tipo de viveiro, além de sua medição não acarretar a destruição das mudas. Assim também é o

diâmetro do coleto, considerado por muitos pesquisadores um dos mais importantes parâmetros para estimar a sobrevivência logo após o plantio de mudas de diferentes espécies florestais (GOMES *et al.*, 2002). Segundo Carneiro (1995) as mudas devem apresentar um diâmetro de colo mínimo, de acordo com a espécie e que seja compatível com a altura, para que seu desempenho seja satisfatório no campo.

Os valores de altura e o diâmetro do coleto estão de acordo com José *et al.*, (2005), que estabeleceu um padrão de 3 mm de diâmetro do coleto e 25 cm para altura da parte aérea, com as mudas de aroeira alcançando o padrão mínimo para plantio aos 90 dias após a repicagem. Segundo Arruda & Calbo., (2004), o aumento na altura da parte aérea das plantas de carnaúba, *Copernicia prunifera* (Mill.) H. E. Moore, não foi afetado pela inundação. Da mesma forma com o buriti, *Mauritia vinifera* Mart., as plantas também não apresentaram sintomas de estresse de inundação (CALBO *et al.*, 1998).

Casemiro *et al.*, (2008), analisando o crescimento em mudas de sobrasil (*Colubrina glandulosa*), café-de-bugre (*Cordia ecalyculata*), uva-japonesa (*Hovenia dulcis*) e sanga-d'água (*Croton urucurana*) submetidas saturação hídrica por 60 dias, observaram que as mudas das quatro espécies apresentaram maior incremento no diâmetro do coleto do que sob condição de não-saturação. Em ambiente radicular saturado, mudas de uva-do-japão e sanga-d'água obtiveram os maiores incrementos em altura.

O número de folhas foi significativamente maior para T1 a partir da segunda avaliação (Figura 1 C). Nas semanas subseqüentes houve diferença estatística entre todos os tratamentos, de forma que T1 e T2 apresentavam aumento do número de folhas e o T3 diminuição de folhas, em função da abscisão foliar característica de plantas totalmente alagadas. Mielke *et al.*, (2005 a), estudando o crescimento em mudas alagadas e controle de *Rapanea ferruginea* (Ruiz & Pavon) Mez. e *Schinus terebinthifolius* Raddi, observaram ao final de 56 dias que não houve diferença significativa entre os tratamentos para altura da parte aérea de ambas as espécies. Para o diâmetro do colo houve diferença apenas para *S. terebinthifolius* e em relação ao número de folhas, houve diferença apenas para *R. ferruginea*.

Em mudas de *Cytherexylum myrianthum* Cham. alagadas por 90 dias, a altura e o diâmetro do colo foram superiores ao das plantas controle, enquanto para *Genipa americana* L. apenas a altura da parte aérea foi diferente, apresentando valores inferiores em relação ao controle. O número de folhas não foi significativo para ambas as espécies (ANDRADE *et al.*, 1999).

Mielke *et al.*, (2005 b), pesquisando mudas de *Annona glabra* L., uma espécie descrita pelos autores como altamente tolerante ao alagamento, verificaram que em solo alagado e não-alagado não há nenhuma mudança significativa para número de folhas e altura da parte aérea. Entretanto foram verificados valores maiores para diâmetro de colo em mudas alagadas.

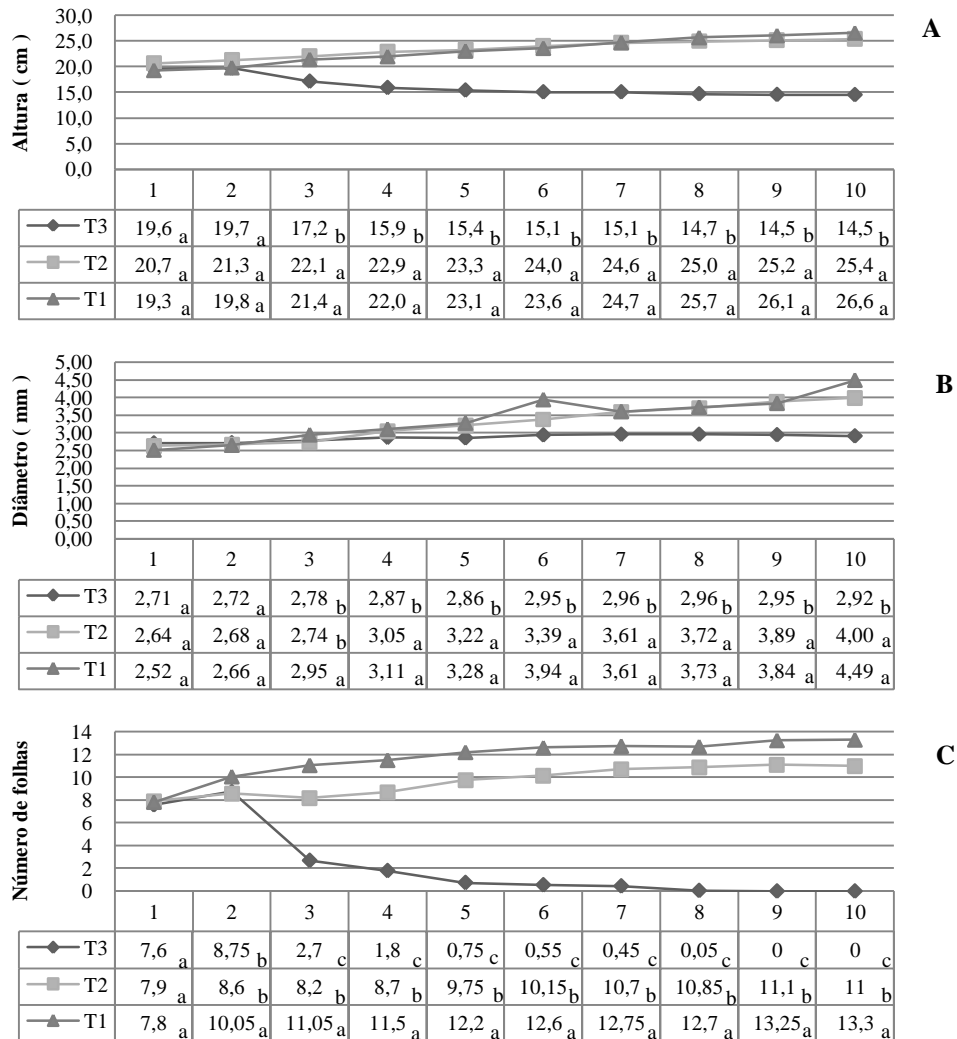


Figura 1: (A) Altura, (B) Diâmetro do colo, (C) Número de folhas de dez semanas após indução dos tratamentos em aroeira-vermelha. T1- testemunha (plantas irrigadas diariamente), T2- alagamento parcial (plantas alagadas até o coleto) e T3- alagamento total (plantas submersas). Valores médios seguidos de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste T, a 5% de probabilidade.

Os valores de biomassa fresca total (planta inteira) foram significativamente diferentes já na segunda avaliação, com o menor valor apresentado pelo T3 (Figura 2 A). Nas semanas

seguintes, os valores de T1 e T2 foram crescentes, na terceira e sétima avaliação T1 e T2 foram iguais estatisticamente, entretanto nas demais avaliações os valores foram sempre maiores para testemunha. Para o T3 os valores foram decrescentes e significativamente inferiores aos demais tratamentos.

A biomassa seca total foi também diferente estatisticamente a partir da segunda avaliação, sendo o menor valor encontrado para T1 (Figura 2 B). A cada semana a biomassa seca total aumentou para os tratamentos T1 e T2, os quais diferiram significativamente do T3 nas avaliações 3, 4, 7, 8 e 9. Nas demais semanas os três tratamentos diferiram entre si, sendo sempre os menores valores relacionados com o maior nível de alagamento. Com o aumento do período de alagamento, as mudas parcialmente alagadas apresentaram grande número de lenticelas hipertrofiadas e raízes adventícias para aumentar a aeração.

Como os níveis energéticos geralmente diminuem em plantas alagadas (KOLB *et al.*, 2002), pode-se sugerir que a espécie em estudo reduziu a alocação de recursos para o crescimento e investiu em alterações morfológicas, como lenticelas hipertrofiadas e aumento dos espaços intercelulares, com o objetivo de assegurar a respiração aeróbia e consequentemente a sobrevivência durante o alagamento (PIMENTA *et al.*, 1996). As mudas totalmente alagadas, com o processo respiratório bastante comprometido pela hipoxia, não cresceram com o aumento do período de alagamento, e sim perderam biomassa, em parte pela deterioração e também pela baixa regeneração de seus tecidos.

Mielke *et al.*, (2005 a), estudando o crescimento em mudas alagadas e controle de *Rapanea ferruginea* (Ruiz & Pavon) Mez. e *Schinus terebinthifolius* Raddi, observaram ao final de 56 dias que houve diferença significativa entre os tratamentos para biomassa total e radicial em ambas espécies.

Em mudas de *Cytherexylum myrianthum* Cham. alagadas por 90 dias, a biomassa radicial e a relação raiz/parte aérea foi maior em relação às plantas controle, enquanto para *Genipa americana* L., esta relação foi menor (ANDRADE *et al.*, 1999). Plantas de *Lithraea molleoides* (Vell.) Engl. alagadas por 35 dias, apresentaram menor biomassa seca total quando comparadas às plantas controle (MEDRI *et al.*, 2007).

Plântulas de *Guibourtia hymenifolia* (Morici.) J. Leonard apresentaram, em geral, médias maiores em biomassa do sistema aéreo do que do sistema radicial. Tanto nos lotes controle quanto tratamento alagado, observou-se também a redução da matéria seca da raiz. De maneira diferente, em *Genipa americana* L., verificou-se um alto investimento em biomassa para o desenvolvimento do sistema radicial (SANTIAGO & PAOLI, 2007).

Plantas de *Inga striata* Benth alagadas apresentaram redução em relação à massa fresca e seca de raiz, caule e folhas quando comparadas com as drenadas pelo mesmo tempo (PONTARA *et al.*, 2008).

Mielke *et al.*, (2005 b), pesquisando mudas de *Annona glabra* L. em solo alagado e não-alagado, verificaram que houve um incremento na biomassa total, radicial e do caule em mudas alagadas. O aumento na biomassa radicial interferiu aumentando também a relação raiz/parte aérea.

De acordo com Batista *et al.*, (2008), as plantas de *Cecropia pachystachya* Trec., alagadas por 30 dias apresentaram diminuição na taxa de crescimento relativo da raiz e do caule, mas nas folhas e na planta inteira não houveram reduções. Efeitos discretos do alagamento sobre o crescimento e desenvolvimento de plantas, como o observado em *C. pachystachya*, já foram observados em alguns estudos com outras espécies que ocorrem em locais sujeitos ao alagamento. Por exemplo, em *Tabebuia avellanedae* Lor. ex Griseb. não foi observado redução na massa seca das folhas, somente de raiz e de caule (DAVANSO *et al.* 2002). No entanto, a maioria das espécies neotropicais tolerantes tem apresentado significativa redução do crescimento da planta como um todo, como foi observado por Kolb *et al.* (1998) em *Sebastiania commersoniana* (Bailon) Smith & Downs, Pimenta *et al.*, (1996) em *Jacaranda puberula* Cham., Medri *et al.*, (1998) em *Peltophorum dubium* (Spr.) Taub., Davanso *et al.* (2003), em *Tabebuia avellanedae* Lor. ex Griseb.

Para o teor de água, não houve diferença entre os tratamentos na primeira avaliação (Figura 2 C). Nas semanas seguintes os valores foram diferentes para os três tratamentos e apenas na sexta e sétima semana os teores de água foram iguais para T1 e T2. Portanto, configurou-se um comportamento inverso ao das características anteriores pois os valores tenderam a decrescer para T1 e T2, já para T3 os valores foram significativamente maiores e tenderam a aumentar a cada semana.

Nas mudas parcialmente alagadas as plantas apresentaram menor teor de água, esta resposta indica provavelmente uma economia de água. Tem sido observado que durante o alagamento as plantas ficam sujeitas ao déficit hídrico, principalmente pela menor absorção de água causada por modificações na permeabilidade das membranas das células das raízes, em consequência do ambiente hipóxico, o que leva a uma menor condutividade hidráulica nas raízes (Pimenta *et al.* 1998; Lobo & Joly, 2001; Taiz & Zeiger, 2004).

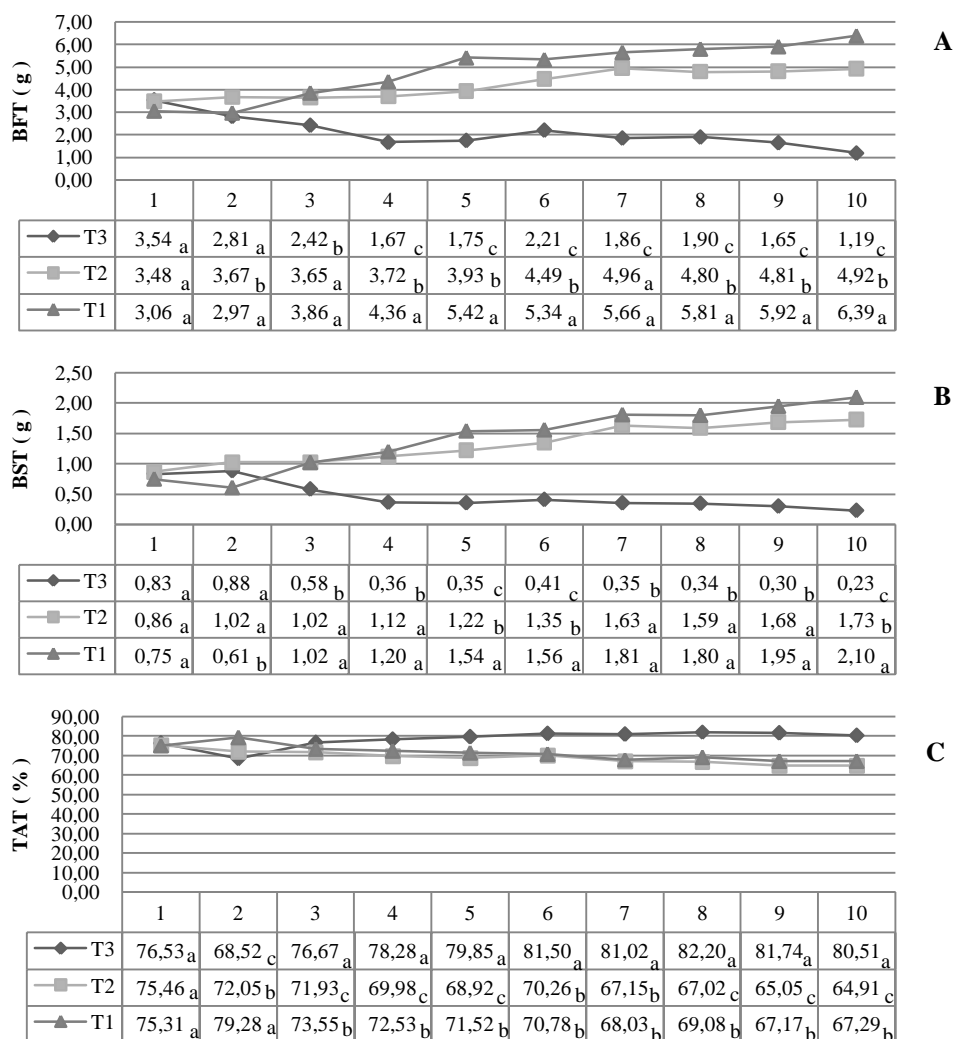


Figura 2: (A) Biomassa fresca total, (B) Biomassa seca total, (C) Teor de água total de dez semanas após indução dos tratamentos em aroeira-vermalha. T1- testemunha (plantas irrigadas diariamente), T2- alagamento parcial (plantas alagadas até o coleto) e T3- alagamento total (plantas submersas). Valores médios seguidos de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste T, a 5% de probabilidade.

Para a biomassa fresca da parte aérea o comportamento das mudas foi semelhante ao da biomassa fresca total até a terceira avaliação (Tabela 1). A partir da quarta semana, o T3 foi significativamente diferente dos demais tratamentos. De forma que, T1 e T2 apresentaram crescimento com o tempo, enquanto T3 apresentava valores reduzidos a cada semana. Para biomassa seca da parte aérea, foram refletidas as mesmas características apresentadas pela biomassa fresca, ao longo das dez semanas.

Para biomassa fresca radicial, de modo geral, da primeira até a sétima avaliação T1 diferiu estatisticamente dos demais tratamentos. Nas semanas seguintes os três tratamentos foram diferentes entre si, sendo que os valores de T2 e T3 foram decrescendo de acordo com o grau de alagamento. Em relação à biomassa seca radicial, os valores foram significativamente diferentes para T1 em relação a T2 e T3. Nas avaliações 1, 2, 3, 6 e 7 nas demais semanas, todos tratamentos foram diferentes, de forma que os maiores valores foram apresentados por T1 e os menores por T3, onde estes últimos reduziram com o tempo de inundação. Pode-se inferir que a espécie em estudo alterou sua estratégia de alocação de biomassa em função dos níveis de alagamento. No alagamento parcial, as mudas mostraram uma diminuição da biomassa radicial em favor do aumento da biomassa da parte aérea.

Os valores de biomassa seca da parte aérea, radicial e total apresentados por T1 estão de acordo com os dados encontrados por Knapik *et al.* (2005), respectivamente: 1,201 g , 0,315 g e 1,539 g em mudas de *Schinus terebinthifolius* aos 4 meses de idade produzidas com a mesma adubação utilizada neste experimento.

A diminuição na biomassa de raízes é uma resposta comum à inundação que parece estar relacionada com a baixa atividade metabólica e volume de trocas da raiz em condições anaeróbicas. Sob estas condições, lenticelas hipertrofiadas podem atuar aumentando a difusão de oxigênio para as raízes submersas internas e também a liberação de compostos voláteis fitotóxicos (KOZLOWSKI 1997). Rogge *et al.*, (1998) observaram que o metabolismo respiratório de raízes de *S. terebinthifolius* não foi significativamente afetado pelo alagamento do solo. Provavelmente, a presença de lenticelas nas mudas de aroeira-vermelha deve ser uma vantagem adaptativa a curto prazo em períodos de encharcamento do solo.

Em mudas de *Chorisia speciosa* A. ST,- HILL. depois de 45 dias de alagamento, a massa seca de raízes e caules foram significativamente menores do que plantas controle (BIANCHINI *et al.*, 2000).

Sob condição hídrica saturada, mudas de sobrasil (*Colubrina glandulosa*) e café-de-bugre (*Cordia ecalyculata*) apresentaram redução na massa seca radicular enquanto as de uva-japonesa (*Hovenia dulcis*) apresentaram acréscimos, e as de sanga-d'água (*Croton urucurana*) não se alteraram quando comparadas com condições de não-saturação (CASEMIRO *et al.*, 2008).

Para o teor de água da parte aérea, a partir da terceira avaliação, o T2 apresentou os menores valores, sendo estatisticamente igual a testemunha apenas nas avaliações 7, 8 e 9. A partir da quinta semana o T3 foi significativamente maior que os demais tratamentos. Para o

teor de água da biomassa radicial, T1 foi estatisticamente menor a partir da terceira semana, enquanto T2 e T3 apresentaram valores iguais. Para parte aérea e radicial, de forma geral, o teor de água apresentou uma pequena redução em T1 ao longo do período experimental. Os teores de água apresentados pelas raízes foram visivelmente maiores em relação aos apresentados pela parte aérea. O grau de suculência é fortemente influenciado pela disponibilidade de água no solo, assim o conteúdo de água das plantas pode apresentar variações dependendo das condições ambientais (BOEGER & GLUZEZAK, 2006).

Tabela 1: Biomassa fresca parte aérea (BFA), biomassa fresca radicial (BFR), biomassa seca parte aérea (BSPA), biomassa seca radicial (BSR), teor de água biomassa parte aérea (TABA) e teor de água biomassa radicial (TABR), de dez semanas após indução dos tratamentos em aroeira-vermelha. T1- testemunha (plantas irrigadas diariamente), T2- alagamento parcial (plantas alagadas até o coleto) e T3- alagamento total (plantas submersas).

Característica	T	Semanas									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BFA (g)	1	1,94 a	1,62 b	2,25 a	2,65 a	3,24 a	3,34 a	3,51 a	3,33 a	3,39 a	3,69 a
	2	2,05 a	2,41 a	2,41 a	2,65 a	2,77 a	3,18 a	3,77 a	3,64 a	3,67 a	3,72 a
	3	2,06 a	2,08 b	1,25 b	0,71 b	0,81 b	1,04 b	0,87 b	0,90 b	0,75 b	0,51 b
BFR (g)	1	1,12 b	1,35 a	1,61 a	1,71 a	2,19 a	2,00 a	2,15 a	2,48 a	2,53 a	2,71 a
	2	1,43 a	1,26 a	1,24 b	1,07 b	1,16 b	1,31 b	1,19 b	1,17 b	1,14 b	1,21 b
	3	1,48 a	0,73 b	1,17 b	0,95 b	0,94 b	1,16 b	0,99 b	1,00 c	0,90 c	0,68 c
BSPA (g)	1	0,60 a	0,47 b	0,75 a	0,90 a	1,12 a	1,15 a	1,30 a	1,24 a	1,34 a	1,44 a
	2	0,68 a	0,83 a	0,85 a	0,97 a	1,05 a	1,15 a	1,43 a	1,39 a	1,48 a	1,52 a
	3	0,64 a	0,67 b	0,41 b	0,23 b	0,23 b	0,25 b	0,21 b	0,21 b	0,17 b	0,13 b
BSR (g)	1	0,15 b	0,14 b	0,28 a	0,30 a	0,43 a	0,42 a	0,52 a	0,57 a	0,62 a	0,66 a
	2	0,19 a	0,19 a	0,18 b	0,15 b	0,17 b	0,19 b	0,20 b	0,19 b	0,21 b	0,21 b
	3	0,20 a	0,21 a	0,17 b	0,13 c	0,12 c	0,16 b	0,14 b	0,14 c	0,13 c	0,10 c
TABA (%)	1	68,97a	71,05a	66,83a	66,21a	65,43b	65,73 b	63,18 b	62,60 b	60,63b	61,05 b
	2	67,21a	65,36b	64,91b	63,59b	62,20c	63,9 c	62,00 b	61,64 b	59,76 b	58,96c
	3	68,94a	67,73b	67,83a	67,03a	72,15a	76,46 a	75,93 a	77,46 a	77,34a	74,61 a
TABR (%)	1	86,21a	89,05a	82,75b	82,29b	80,44c	79,23 b	75,96 b	77,22 c	75,88 b	75,73 b
	2	87,08a	84,80b	85,60a	85,57a	85,11b	85,40 a	83,02 a	83,19 b	81,75 a	82,96 a
	3	86,67a	70,40c	85,77a	86,38a	86,47a	86,04 a	85,46 a	86,42 a	85,31 a	84,87 a

Valores médios seguidos de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste T, a 5% de probabilidade para cada característica.

O comprimento radicial não diferiu estatisticamente nas duas primeiras semanas (Figura 3 A), não obstante a partir da terceira avaliação houve diferença significativa. Os

maiores valores foram apresentados pela testemunha que, a partir da segunda semana retomou o crescimento, seguida por T2 a partir da quarta semana. Em T3 os valores decresceram a cada semana. O crescimento das raízes é diminuído em função das quedas no oxigênio disponível para a respiração radicular e da presença de fitotoxinas, inibindo a formação e promovendo a morte das raízes (PEZESHKI, 1994). Várias análises são realizadas com as raízes visando quantificar e caracterizar o aspecto do sistema radicular, dentre estas encontram-se o comprimento total e o volume. Ambos são considerados muito importantes para a absorção de água e nutrientes.

Para o volume radicular as diferenças entre os tratamentos foram iniciadas a partir da quarta avaliação (Figura 3 B). Desde então, T1 apresentou os maiores valores diferindo dos demais tratamentos. A cada semana, enquanto houve crescimento em volume radicular da testemunha, os tratamentos alagados sofriam redução neste volume, sendo que o T3 apresentou os valores mais baixos.

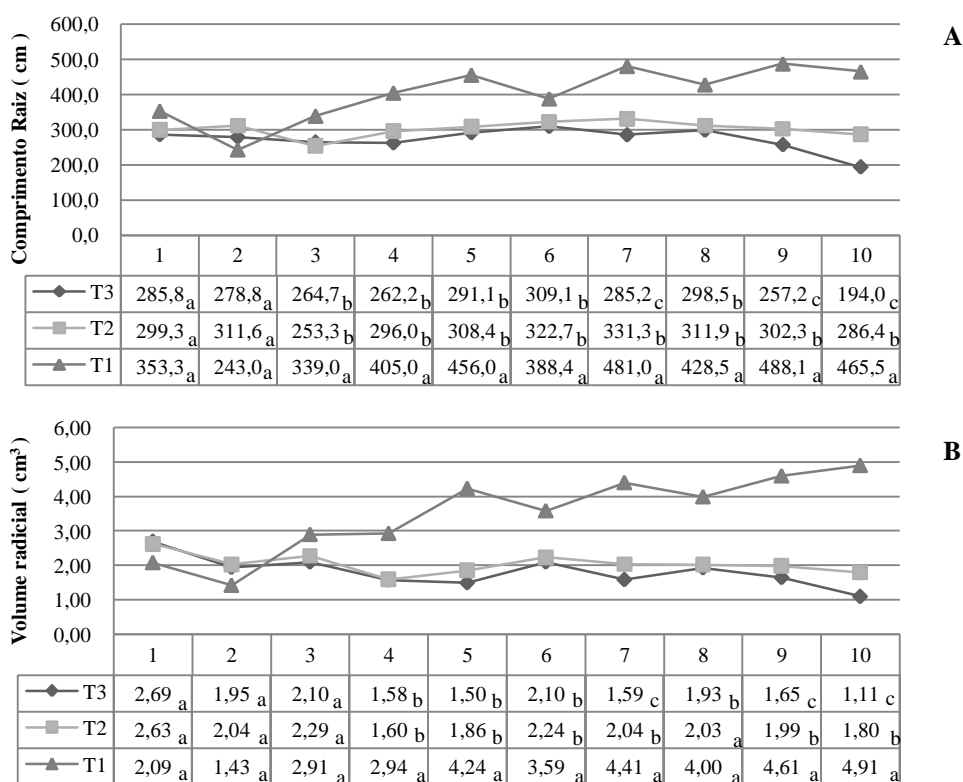


Figura 3: (A) Comprimento radicular, (B) Volume radicular de dez semanas após indução dos tratamentos em aroeira-vermelha. T1- testemunha (plantas irrigadas diariamente), T2- alagamento parcial (plantas alagadas até o coleto) e T3- alagamento total (plantas submersas). Valores médios seguidos de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste T, a 5% de probabilidade.

A superfície e o volume de raízes consistem na determinação da média dos diâmetros de um considerável número de raízes e do comprimento total destas (CARNEIRO, 1995), que pode ser realizada por programas de computador. Esta tecnologia tem operacionalizado as medições do sistema radicial, envolvendo maior quantidade de características, exatidão e redução de tempo. O aperfeiçoamento desses métodos poderá propiciar conhecimentos necessários sobre a formação e a distribuição das raízes para se estabelecer relações entre o sistema radicial, adaptabilidade e produtividade florestal (RODRIGUES *et al.*, 2003).

Bardall (2007) verificou que a aroeira suportou a inundação por 56 dias, ainda que tenha demonstrado alguma dificuldade de desenvolvimento. Analisando a sua reação, observou-se que o conjunto submetido à capacidade de campo sempre obteve a melhor resposta de crescimento e, na maioria dos casos, os tratamentos em água tiveram valores muito parecidos. Isto refletiu uma estagnação em seu desenvolvimento a partir do momento em que o substrato é saturado hidricamente, com exceção das variáveis que envolvem a massa seca e o volume de raízes, para as quais houve algum incremento aos 56 dias em água, quando se compara com os conjuntos de 14 e 28 dias. Contudo, o aumento do volume de raízes para o período mais longo de inundação pode ser explicado pelo acréscimo no número e no comprimento das raízes adventícias.

Para a relação H/DC, os valores de T3 foram significativamente menores que T1 e T2 a partir da terceira semana (Tabela 2). De modo geral, as mudas alagadas apresentaram diminuição da relação altura da parte aérea/diâmetro do coleto com o aumento do período sob alagamento, explicado pelo maior incremento do diâmetro do coleto em relação a altura da parte aérea. O índice H/D para todos os tratamentos foi menor que 10, padrão recomendado por Birchler *et al.* (1998), citado por José *et al.*, (2005). O valor resultante da divisão da altura da parte aérea pelo diâmetro do coleto exprime um equilíbrio de crescimento, relacionando esses dois importantes parâmetros morfológicos em apenas um índice (CARNEIRO, 1995), também denominado de quociente de robustez. De acordo com este mesmo autor, quanto menor for o seu valor, maior será a capacidade de as mudas sobreviverem e se estabelecerem na área do plantio definitivo.

Também a partir da terceira semana, T3 apresentou valores da relação H/BSPA estatisticamente superiores a T1 e T2. Gomes *et al.* (2002) observaram que a relação altura/massa seca da parte aérea de mudas *Eucalyptus grandis* apresentou a maior contribuição relativa mostrando a sua importância, apesar de na sua determinação ser preciso

levar em consideração um parâmetro destrutivo, que é a massa seca. Quanto menor for a relação H/BSPA, mais lignificada estará a muda e maior a sua capacidade de sobrevivência em campo (GOMES *et al.*, 2003). Portanto, as mudas totalmente alagadas ficavam, a cada semana, menos apropriadas a sobreviver em campo.

A relação BSPA/BSR para T2 foi significativamente maior que os demais tratamentos a partir da segunda semana e T3 apresentou os menores valores. Este resultado indica que as mudas apresentaram padrões diferentes de distribuição de matéria seca entre os dois órgãos, variando de acordo com o período de permanência sob alagamento. O maior acúmulo de massa seca da parte aérea por parte de T1 e T2 pode ser explicado, em parte, pelo pequeno porte e volume do recipiente, o que pode restringir a disponibilidade de água e de nutriente e a expansão do sistema radicial. Por outro lado, a hipoxia causada pelo alagamento é um fator preponderante para a redução das raízes. Almeida (2005) encontrou resultados para a relação BSPA/BSR em aroeira, que variaram de 2,76 e 3,57. Estes valores indicam maior proporcionalidade para o índice do que os obtidos neste experimento.

De acordo com Caldeira *et al.* (2008), deve-se dizer que a relação parte aérea e raiz nas mudas deve ser de 2:1 e a relação raiz e parte aérea 1:2. É importante analisar essa relação quando as mudas vão para o campo, pois a parte aérea das mudas não deve ser muito superior que a da raiz em função dos possíveis problemas no que se refere a absorção de água para a parte aérea.

Para o IQD os valores foram diferentes entre todos os tratamentos a partir da quarta semana, sempre de acordo com o grau de alagamento, T1 apresentou os maiores valores, seguido por T2 e T3. O índice de qualidade de Dickson (IQD) é obtido através de uma fórmula balanceada onde inclui as relações dos parâmetros morfológicos, como a biomassa seca total, a biomassa seca da parte aérea, a biomassa seca das raízes, a altura da parte aérea e o diâmetro de colo.

O índice de qualidade de Dickson é um bom indicador da qualidade das mudas, pois no seu cálculo são considerados a robustez e o equilíbrio da distribuição da biomassa na muda, ponderando os resultados de vários parâmetros importantes empregados para avaliação da qualidade. (FONSECA *et al.*, 2002). Estabelecendo como padrão o valor mínimo do índice de qualidade de Dickson em 0,20 para as mudas produzidas em recipientes de 50 ou 60 ml, como recomendado por Hunt (1990), citado por Fonseca *et al.*, (2002), observa-se que apenas as mudas do T1 atingiram esse valor a partir da oitava semana de experimento, indicando que

as mudas alagadas não apresentaram qualidade suficiente para sobreviverem ao serem plantadas no campo.

Tabela 2: Desempenho de mudas por dez semanas após indução dos tratamentos em aroeira-vermelha. T1- testemunha (plantas irrigadas diariamente), T2- alagamento parcial (plantas alagadas até o coleto) e T3- alagamento total (plantas submersas). Relação altura e diâmetro de colo (H/D), relação biomassa seca da parte aérea e da parte radicial (BSPA/BSR), relação altura da parte aérea/biomassa seca da parte aérea (H/BSPA) e índice de qualidade de Dickson (IQD).

Índice	T	Semanas									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H/DC	1	7,65 a	7,45 b	7,27 a	7,08 a	7,04 a	6,23 a	6,87 a	6,91 a	6,82 a	6,77 a
	2	7,86 a	7,97 a	9,49 a	7,52 a	7,28 a	7,14 a	6,88 a	6,78 a	6,51 a	6,41 a
	3	7,24 a	7,31 b	6,22 b	5,56 b	5,43 b	5,14 b	5,11 b	4,98 b	4,96 b	5,00 b
BSPA/BSR	1	4,03 a	3,83 b	2,74 b	3,02 b	2,65 b	3,03 b	2,69 b	2,24 b	2,25 b	2,25 b
	2	3,75 a	4,51 a	4,98 a	6,33 a	6,39 a	6,90 a	7,28 a	7,37 a	7,45 a	7,77 a
	3	3,37 b	3,25 c	2,47 b	1,85 c	1,82 c	1,68 c	1,49 c	1,53 c	1,41 c	1,40 c
H/BSPA	1	33,05 a	45,55 a	32,26 b	25,79 b	21,47 b	22,20 b	19,91 b	21,88 b	20,13 b	19,63 b
	2	33,91 a	27,16 b	27,30 b	24,82 b	23,16 b	22,86 b	18,18 b	18,51 b	17,88 b	17,26 b
	3	32,75 a	31,48 b	49,23 a	70,68 a	73,29 a	65,53 a	80,86 a	80,75 a	91,47 a	126,7 a
IQD	1	0,06 b	0,05 b	0,10 a	0,12 a	0,16 a	0,18 a	0,19 a	0,19 a	0,22 a	0,23 a
	2	0,07 a	0,08 a	0,08 a	0,08 b	0,09 b	0,10 b	0,12 b	0,12 b	0,12 b	0,12 b
	3	0,08 a	0,08 a	0,07 b	0,05 c	0,05 c	0,06 c	0,05 c	0,05 c	0,05 c	0,04 c

Valores médios seguidos de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste T, a 5% de probabilidade para cada característica.

CONCLUSÕES

A partir da terceira semana sob alagamento, para altura da parte aérea, diâmetro ao nível do colo e número de folhas, o tratamento totalmente alagado apresentou valores significativamente menores que o tratamento parcialmente alagado e testemunha. Os valores de biomassa fresca e seca total foram crescentes para testemunha e para as mudas parcialmente alagadas, em menor proporção. De outro modo para as mudas do tratamento totalmente alagado houve apenas decréscimos na biomassa.

Para o teor de água foi verificado o inverso, ou seja, o tratamento totalmente alagado apresentou os maiores valores. As mudas desenvolvidas sob maior nível de alagamento apresentaram os menores valores de crescimento e para avaliação do desempenho de mudas.

O crescimento e a qualidade das mudas foram afetados pelo nível de alagamento e período de permanência sob esta condição, alterando alguns parâmetros morfológicos, as relações entre estes parâmetros e o índice utilizado na avaliação.

As mudas alagadas ao final do experimento, com seis meses de idade, apresentaram padrões de qualidade inadequados para o plantio, após 70 dias de alagamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, L. S. **Avaliação morfológica de mudas de *Allophylus edulis* (A.ST. -HIL., A. JUSS., & CAMBESS.) RADL. (vacum) e *Schinus terebinthifolius* RADDI (aroeira) produzidas em diferentes substratos.** Curitiba, 2005. 96 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

ANDRADE, A. C. S.; RAMOS, F. N.; SOUZA, A. F.; LOUREIRO, M. B.; BASTOS, R. Flooding effects of *Cytharexylum myrianthum* Cham. And *Genipa americana* L.: responses of two neotropical lowland species. **Rev. Bras. Bot.** v. 22, p. 281-285, 1999.

ARRUDA, G. M. T.; CALBO, M. E. R. Efeitos da inundação no crescimento, trocas gasosas e porosidade radicular da carnaúba (*Copernicia prunifera* (Mill.) H.E. Moore). **Acta bot. bras.** 18 (2) 219-224. 2004.

BARDALL, M. L. **A influência da saturação hídrica na distribuição de oito espécies arbóreas da floresta ombrófila mista aluvial do Rio Iguaçu, Paraná, Brasil.** Curitiba, 2007. 114 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrária, Universidade Federal do Paraná.

BATISTA, C. U. N.; MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; MEDRI, C.; PIMENTA, J. A. Tolerância à inundação de *Cecropia pachystachya* Trec. (Cecropiaceae): aspectos ecofisiológicos e morfoanatômicos. **Acta bot. bras.** 22(1) 91-98. 2008.

BIANCHINI, E.; MEDRI, M. E.; PIMENTA, J. A.; GILONI, P. C.; KOLB, R. M.; CORREA, G. T. Anatomical alterations in plants of *Chorisia speciosa* A. St.- Hil. Submitted to flooding. **Revista Interciência** 25 (9) 436-441, 2000.

BOEGER, M. R. T.; GLUZEZAK, R. M. Adaptações estruturais de sete espécies de plantas para as condições ambientais da área de dunas de Santa Catarina, Brasil. **Iheringia, Sér. Bot.**, Porto Alegre, 61 (1-2) 73-82, jan./dez. 2006.

CALBO, M. E. R.; MORAES, J. A. P. V.; CALBO, A. G. Crescimento, condutância estomática, fotossíntese e porosidade do buriti sob inundação. **Rev. Bras. Fisiol. Veg.** 10 (1), p. 51-58. 1998.

CALDEIRA, M. V. W.; ROSA, G. N.; FENILLI, T. A. B.; HARBS, R. M. P. Composto orgânico na produção de mudas de aroeira-vermelha. **Scientia Agrária**, Curitiba, 9 (1) 27-33. 2008.

CASEMIRO, E. L. N.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. Efeito da saturação hídrica, idade e volume radicular no crescimento inicial de quatro espécies florestais. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 15, n.1, p. 13-19, 2008.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF; Campos; UENF, 1995.

CURCIO, G. R.; SOUSA, L. P.; BONNET, A.; BARDDAL, M. L. Recomendação de Espécies Arbóreas Nativas, por tipo de Solo, para Recuperação Ambiental das Margens do Rio Iraí, Pinhais, PR. **Rev. Floresta**, Curitiba, 37 (1): 113-122. 2007.

DAVANSO, V. M.; SOUZA, L. A.; MEDRI, M. E.; PIMENTA, J. A.; BIANCHINI, E. Photosynthesis, Growth and Development of *Tabebuia avellanadae* Lor. Ex Griseb. (Bignoniaceae) in Flooded Soil. **Braz. Arch. of Biol. and Technol.**, vol. 45, n. 3 : p. 375-384, 2002.

DAVANSO, V. M.; MEDRI, M. E.; SOUZA, L. A.; COLLI, S. *Tabebuia avellanadae* Lor. Ex Griseb. (Bignoniaceae) Submitted at the Flooding and the “Ethrel” and Silver Nitrate Application. **Braz. Arch. of Biol. and Technol**, vol. 46, n. 1 : pp. 57-64, 2003.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle.**, v. 36, p. 10-13, 1960.

FONSECA, E. P.; VALÉRI, S. V.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, N. A. N.; COUTO, L. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **R. Árvore**, Viçosa-MG, 26 (4) 515-523. 2002.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de Mudas de *Eucalyptus grandis*. **R. Árvore**, Viçosa-MG, 26 (6) 655-664. 2002.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes tamanhos de tubetes e fertilização N-P-K. **R. Árvore**, Viçosa-MG, 27 (2) 113-127. 2003.

HURLBERT, S.H. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. **Ecological Monographs** 54: 187-211. 1984.

KNAPIK, J. G.; ALMEIDA, L. S.; FERRARI, M. P.; OLIVEIRA, E. B.; NOGUEIRA, A. C. Crescimento inicial de *Mimosa scabrella* Benth., *Schinus terebinthifolius* Raddi e *Allophylus edulis* (St. Hill.) Radl. sob diferentes regimes de adubação. **Bol. Pesq. Fl.**, Colombo, n. 51, p. 33-34, 2005.

KOLB, R. M.; MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J. A.; GILONI, P. C.; CORREA, G. T. Anatomia ecológica de *Sebastiania commersoniana* (Baillon) Smith & Downs (Euphorbiaceae) submetida ao alagamento. **Revta Brasil. Bot.** São Paulo, v. 21, n. 3, p. 305-312, 1998.

KOLB, R. M.; RAWYLER, A.; BRAENDLE, R. Parameters affecting the early seedling development of four neotropical trees under oxygen deprivation stress. **Ann. Bot. Oxford**, v. 89, p. 551-558, 2002.

KOZLOWSKI, T.T. Responses of woody plants to flooding and salinity. **Tree Physiol. Mon.** v.1, p. 1-29, 1997.

LOBO, P. C.; JOLY, C. A. Aspectos Ecofisiológicos da vegetação de mata ciliar do Sudeste do Brasil. In: **Matas Ciliares: Conservação e Recuperação**. 2ª ed. – São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2001.

MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J. A.; DELGADO, M. T.; CORREA, G. T. Aspectos morfo-anatômicos e fisiológicos de *Peltophorum dubium* (Spr.) Taub. Submetida ao alagamento e aplicação de ethrel. **Rev. Brasil. Bot.** (21) 261-267. 1998.

MEDRI, M. E.; FERREIRA, A. C.; KOLB, R. M.; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J. A.; DAVANSO-FABRO, V. M.; MEDRI, C. Alterações morfoanatômicas em plantas de *Lithraea molleoides* (Vell.) Engl. submetidas ao alagamento. **Acta Sci. Biol. Sci.** Maringá, 29 (1) 15-22. 2007.

MIELKE, M. S.; ALMEIDA, A. F. de, GOMES, F. P.; MANGABEIRA, P. A. O.; SILVA, D. da C. Effects of soil flooding on leaf gas exchange and growth of two neotropical pioneer tree species. **New Forest**, v. 29, p. 161-168, 2005 a.

MIELKE, M. S.; ALMEIDA, A. F. de, GOMES, F. P.; MANGABEIRA, P. A. O.; SILVA, D. da C. Some photosynthetic and growth responses of *Annona glabra* L. seedlings to soil flooding. **Acta bot. bras.** 19 (4), p. 905-911, 2005 b.

NOVAES, A. B. de. **Avaliação morfológica da qualidade de mudas de *Pinus taeda* L., produzidas em raiz nua e em diferentes tipos de recipientes**. Curitiba-PR, 1998, 118f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná – UFPR.

PEZESHKI, S. R. Plant response to flooding. In: Wilkinson, R. E. (ed.) **Plant-environment interactions**. New York, Marcel Dekker, 289-321, 1994.

PIMENTA, J. A.; MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; MULLER, C.; OKAMOTO, J. M.; FRANCISCONI, L. M. J.; CORREA, G. T. Aspectos da morfoanatomia e fisiologia de *Jacaranda puberula* Cham. (Bignoniaceae) em condições de hipoxia. **Revta Brasil. Bot.** São Paulo, 19 (2) 215-220. 1996.

PIMENTA, J. A.; BIANCHINI, E.; MEDRI, M. E. Adaptations to flooding by tropical trees: morphological and anatomical modifications. p. 157-176. In: F. R. Scarano & A. C. Franco (eds.). **Ecophysiological strategies of xerophytic and amphibious plants in the neotropics**. Rio de Janeiro, Oecologia Brasiliensis v. IV, PPGE-UFRJ, 1998.

PONTARA, V.; BUENO, M. L.; BATISTA, C. U. N. **Respostas morfológicas das plântulas de *Inga striata* Benth ocorrentes na bacia do rio Paraná, submetidas ao alagamento**. Resumo In.: IX Simpósio Nacional Cerrado e II Simpósio Internacional Savanas Tropicais, Brasília, DF, 2008.

RÉGENT INSTRUMENTS INC. **Programa Win Rhizo**. Disponível em:
< <http://www.regentinstruments.com/>>. Acesso em: 26 set. 2007.

RODRIGUES, E. A. C. et al. Qualidade morfológica de mudas de *Eucalyptus* avaliada em imagens obtidas por scanner óptico. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8; 2003, São Paulo-SP. **Relação de trabalhos**. São Paulo: SBEF/SBS, 2003. n. 163 . 1 CD-ROM.

ROGGE, G. D.; PIMENTA, J. A.; BIANCHINI, E.; MEDRI, M. E.; COLLI, S. E.; ALVES, L. M. T. Metabolismo respiratório de raiz de espécies arbóreas tropicais submetidas à inundação. **Rev. Bras. Bot.** v. 21, p. 153-158, 1998.

SANTIAGO, E. F.; PAOLI, A. A. S. Respostas morfológicas em *Guibourtia hymenifolia* (Morici.) J. Leonard (Fabaceae) e *Genipa americana* L. (Rubiaceae), submetidas ao estresse por deficiência nutricional e alagamento do substrato. **Ver. Brasil. Bot.** 30 (1) 129-138. 2007.

SILVA, M. R. **Caracterização morfológica, fisiológica e nutricional de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden submetidas a diferentes níveis de estresse hídrico durante a fase de rustificação**. Curitiba, 1998. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Trad. Eliane Romanato Santarém. 3ª ed. Porto Alegre: ed. Artmed, 2004.

CAPÍTULO 4

**MORFOANATOMIA FOLIAR EM MUDAS DE *Schinus terebinthifolius* Raddi
(Anacardiaceae), SOB DIFERENTES NÍVEIS DE SATURAÇÃO HÍDRICA**

**MORFOANATOMIA FOLIAR EM MUDAS DE *Schinus terebinthifolius* Raddi
(Anacardiaceae), SOB DIFERENTES NÍVEIS DE SATURAÇÃO HÍDRICA**

Resumo

Objetivou-se caracterizar a plasticidade fenotípica de *Schinus terebinthifolius* Raddi em diferentes condições de saturação hídrica. O experimento foi conduzido no viveiro da Embrapa Florestas em Colombo-PR, Brasil. As mudas foram produzidas em tubetes plásticos, permanecendo em estufa por quatro meses, sendo irrigadas normalmente. Em seguida foram submetidas aos tratamentos: T1- testemunha (plantas irrigadas diariamente), T2- alagamento parcial (plantas alagadas até o coleto) e T3- alagamento total (plantas submersas). Após três semanas sob alagamento foram realizadas descrições anatômicas foliares comparativas e avaliadas as seguintes características morfológicas: área foliar, área específica foliar, espessura foliar, teor de água e densidade estomática. Durante um período de 10 semanas as mudas de aroeira-vermelha foram observadas quanto às modificações fenotípicas adaptativas nos dois níveis de saturação hídrica avaliados. Foi observado aumento da espessura da base do caule, clorose e abscisão foliar, surgimento de lenticelas e raízes adventícias. Para os parâmetros morfológicos avaliados após três semanas de alagamento, não foram verificadas grandes modificações na morfologia das folhas, principalmente para a área foliar e AEF. Em T3, o teor de água foi maior e a espessura foliar menor. Não houve diferença entre os tratamentos para densidade estomática. Quanto aos aspectos anatômicos, observou-se uma redução na espessura do mesófilo e das nervuras, assim como a produção de compostos fenólicos por alguns tipos celulares. Os espaços intercelulares são progressivamente mais amplos nas plantas submetidas ao alagamento. Conclui-se que as mudas desta espécie mostraram-se mais tolerantes ao alagamento parcial do que ao alagamento total. *S. terebinthifolius* possui grande potencial de utilização em recuperação de áreas ripárias, uma vez que a plasticidade fenotípica apresentada por mudas desta espécie levou ao desenvolvimento de diversas adaptações morfoanatômicas em função dos diferentes níveis de saturação hídrica.

Palavras-chave: Morfometria, alagamento, plasticidade fenotípica, descrição anatômica

**MORPHOANATOMY LEAF IN SEEDLINGS of *Schinus terebinthifolius* Raddi
(Anacardiaceae), UNDER DIFFERENT LEVELS OF WATER SATURATION**

Abstract

The purpose of this work was to characterize the phenotypic plasticity of *Schinus terebinthifolius* Raddi in different conditions of water saturation. The experiment was conducted in the Embrapa Forests vivarium in Colombo-PR, Brazil. The seedlings were grown in plastic tubets, kept in a greenhouse for four months, and irrigated normally. Then they were treated: T1-control (daily irrigated plants), T2-partial flooding (flooded plants until the girth) and T3- total flooding (submerged plants). After three weeks under flooding leaf

comparative anatomical descriptions were done and the following morphological characteristics were assessed: leaf area, specific leaf area, leaf thickness, water content and stomatal density. Over a period of 10 weeks, the seedlings of aroeira-vermelha were observed regarding the adaptive phenotypic changes in both water saturation levels measured. We observed an increase in thickness of the base of the stem, leaf chlorosis and abscission, and the appearance of lenticels and adventitious roots. For the morphological parameters evaluated after three weeks of flooding, there were no major changes in the morphology of the leaves, mainly to leaf area and AEF. In T3, the water content was higher and leaf thickness. There was no difference between treatments for stomatal density. Concerning the anatomy, we noticed that there was a reduction in the thickness of the mesophyll and vein as well as the production of phenolic compounds by some cell types. The intercellular spaces are progressively larger in plants subjected to flooding. It is concluded that the seedlings of this species were more tolerant to partial flooding than to total flooding. *S. terebinthifolius* has a great potential for use in restoration of riparian areas, since the phenotypic plasticity displayed by seedlings of this species led to the development of several adaptations morphoanatomical for different levels of water saturation.

Keywords: Morphometry, flooding, phenotypic plasticity, anatomic description.

INTRODUÇÃO

As características morfológicas e anatômicas das folhas de espécies vegetais são importantes indicadores de sua ecologia e dos habitats que ocupam. Investigar a associação da variação das características morfoanatômicas das folhas com variáveis ambientais, como a saturação hídrica, fornece informações sobre as respostas da planta às condições ecológicas.

Variações na estrutura das folhas de angiospermas são em grande parte, relacionadas com o habitat, e a disponibilidade de água é um fator especialmente importante que afeta sua forma e estrutura (RAVEN *et al.*, 2001). Estudos anatômicos são altamente significativos, especialmente quando associados aos aspectos ecológicos, fisiológicos e comparativos (METCALFE & CHALK, 1950). De acordo com os estudos de Dias *et al.* (2003), ficou demonstrado que as estruturas histológicas de folhas de *S. terebinthifolius*, expressam características fenotípicas distintas em função das condições ambientais.

As matas ciliares são imprescindíveis ao equilíbrio ecológico de uma bacia hidrográfica e, por estarem diretamente associadas aos cursos d'água, sofrem alagamentos periódicos decorrentes de cheias. O alagamento é um forte fator limitante à vida de inúmeras espécies vegetais. Assim, torna-se importante o estudo da tolerância ou resistência de espécies de mata ciliar a alagamentos temporários ou duradouros (CIRILO & MEDRI, 2002).

As plantas sensíveis à inundação são danificadas severamente em poucas horas sob anoxia, as plantas tolerantes podem suportar temporariamente essa condição. Já as plantas bem adaptadas que habitam terras úmidas, crescem e sobrevivem durante períodos superiores a meses com seus sistemas de raízes em condições de alagamento (TAIZ & ZEIGER, 2004).

A saturação hídrica do solo pode afetar o crescimento de raízes e também da parte aérea das plantas, tanto pela inibição do alongamento dos entrenós, quanto pela iniciação e expansão das folhas, podendo também acelerar a senescência e abscisão destas (KOZLOWSKI, 1984). O alagamento do solo reduz a disponibilidade de oxigênio para a planta. No entanto, determinadas espécies, quando submetidas ao alagamento, podem produzir modificações morfoanatômicas, as quais permitem a difusão de oxigênio da parte aérea para as raízes, mantendo a respiração aeróbica. Estas modificações incluem lenticelas hipertróficas, formação de aerênquima e de raízes adventícias (MEDRI *et al.*, 1998).

As lenticelas são aberturas comuns na periderme de caules e raízes, com função de trocas gasosas, podendo ou não estar associadas com locais de existência de estômatos. Na região das lenticelas o felogênio é mais ativo e produz um tecido que, em contraste com o súber, apresenta inúmeros espaços intercelulares (GAVILANES & CASTRO, 1998). Em caules submersos, as lenticelas sofrem hipertrofia na região submersa e acima desta, com aumento do tecido de enchimento e dos espaços intercelulares e, conseqüentemente, da aeração (APPEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELO-GUERREIRO, 2003). Plantas que crescem em ambientes que promovam hipoxia podem desenvolver aerênquimas, cujos espaços intercelulares amplos, envolvem destruição de células durante sua formação. Tal tecido é uma adaptação à condição de alagamento (ESAU, 1976). Em solos pouco arejados, as plantas que ali crescem desenvolvem sistema de raízes laterais, posicionando-as próximo à superfície do substrato (LARCHER, 2000).

A anatomia foliar é um fator de bastante importância, pois dela que depende, em grande parte, a adaptação das plantas ao seu ambiente. São as características químicas e/ou morfológicas da superfície foliar que condicionam, por exemplo, a quantidade de luz absorvida ou refletida, o grau de hidrofobia do órgão, a pressão de vapor do ar em contato com as folhas, a eficiência do órgão em defender-se de parasitas e patógenos, a quantidade de poluentes ou defensivos absorvida e, evidentemente, a magnitude da transpiração (SANTIAGO *et al.*, 2001).

A área foliar, a área específica foliar, a espessura total da lâmina foliar, o conteúdo de água e a densidade estomática são alguns parâmetros utilizados para avaliar o grau de

adaptação da planta. A escassez de informações anatômicas foliares sobre aroeira-vermelha requer o estudo de uma possível plasticidade anatômica através da análise de influências ambientais.

Segundo Lobo & Joly (2001), ao contrário do que sugerem alguns autores, o estudo isolado das respostas do metabolismo respiratório do sistema radicial ou de rizomas submetidos à saturação hídrica do solo, não permite a classificação das espécies em tolerantes ou não tolerantes ao estresse.

A aroeira-vermelha pertence à família Anacardiaceae, é uma árvore com aptidões múltiplas, tais como: madeireira, ornamental, fitoquímica, servindo também para arborização e recuperação de áreas degradadas. Ecologicamente é classificada como planta perenifólia, heliófita e pioneira, comum em beira de rios, córregos e em várzeas úmidas de formações secundárias, contudo cresce também em terrenos secos e pobres.

Apesar da grande importância econômica e ecológica da aroeira-vermelha e de seu potencial na recuperação de áreas degradadas, as informações sobre as respostas morfoanatômicas sob condições de alagamento ainda carecem de complementações. No intuito de contribuir com o conhecimento sobre a utilização da aroeira-vermelha em programas de recuperação de áreas ripárias, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar a plasticidade fenotípica da aroeira-vermelha em diferentes condições de saturação hídrica, mediante análise de aspectos morfoanatômicos.

MATERIAL E MÉTODOS

Cultivo e obtenção das amostras

O experimento foi conduzido no viveiro da Embrapa Florestas em Colombo-PR, localizado a 22° 42' 30" S e 47° 38' 00" W. G., com altitude média de 950 m. O clima é Cfb, segundo a Classificação de Köppen, com precipitação média anual de 1.600 mm. A temperatura média anual é de 16,5 °C; a temperatura média do mês mais frio é de 12,6 °C e do mês mais quente é de 20,1 °C.

As mudas de aroeira foram produzidas em tubetes plásticos com volume de 188 cm³, contendo substrato comercial Plantmax® (90%), terra de subsolo (10%) e adubação de base para espécies florestais nativas (superfosfato simples, sulfato de amônio, cloreto de potássio e FTE BR9), dispostos em 3 bandejas metálicas com capacidade para 536 mudas, preenchidas

até um terço de sua capacidade, permanecendo em estufa por quatro meses, onde as mudas foram adubadas por três vezes. Em seguida as mudas foram transferidas para bandejas plásticas com capacidade para 96 tubetes, sendo preenchidas até a metade de sua capacidade, de forma espaçada, e submetidas por um período de pleno sol.

Caixas de madeira medindo 3,0 m (comprimento) x 0,8 m (largura) e 0,6 m (altura) foram fabricadas para acondicionar as bandejas com os tubetes. Primeiro, as caixas que receberiam o tratamento de inundação foram recobertas por dentro com plástico. Após as bandejas serem dispostas dentro das caixas, uma delas foi preenchida com água até a altura do coleto das mudas e a outra cheia até a submersão das mudas com uma coluna de água de aproximadamente 15 cm. Nessas caixas as mudas foram submetidas aos tratamentos: T1- testemunha (plantas irrigadas diariamente) similar à capacidade de campo, T2- alagamento parcial (plantas alagadas até o coleto) e T3- alagamento total (plantas submersas). O delineamento experimental utilizado foi em blocos utilizando pseudo-repetições (HURLBERT, 1984). Na comparação dos três tratamentos deve-se levar em conta que as caixas diferenciavam-se apenas pelos níveis de alagamento e ausência deste, cada uma formando um único bloco e que, portanto, do ponto de vista estatístico, suas parcelas constituíam-se em pseudo-repetições. Cada tratamento foi composto de cinco parcelas cada uma com 48 mudas. Durante o período experimental, o ensaio foi conduzido em estufa construída de material vítreo e sem climatização.

As mudas foram avaliadas após três semanas de alagamento. Este período foi determinado para coleta em função da abscisão foliar das mudas do tratamento totalmente alagado que se tornava bastante evidenciada. Coletaram-se três folhas localizadas entre o terceiro e quinto nós no sentido ápice-base de cada indivíduo, respectivamente folhas 1, 2 e 3. Foram utilizados dez indivíduos por tratamento para as características morfológicas e anatômicas. As demais observações adaptativas foram realizadas semanalmente no período de 70 dias.

Mensurações

A espessura foliar foi medida com paquímetro digital, com padronização em relação à localização da medida e a ausência de nervuras grossas. Para cálculo da área foliar (folha completa com todos os folíolos), foram utilizadas imagens digitalizadas em Scanner de mesa, acoplado ao computador Programa Sigma Scan-Pro versão 5.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA,

1995). A massa seca das folhas foi obtida mediante secagem a 65° C, até adquirir peso constante. O teor de água foi calculado pela representatividade percentual da diferença entre a massa fresca e a massa seca em relação à massa fresca. A área específica foliar (AEF) foi estimada pela relação área foliar/massa seca (WITKOWSKI & LAMONT, 1991). Nas folhas secas, foi estimada a densidade estomática a partir da confecção de moldes da face abaxial da epiderme com esmalte de unha incolor, pela contagem dos estômatos situados numa área previamente conhecida, em microscópio com câmara clara (BOEGER *et al.*, 2006).

As análises estatísticas foram realizadas pelo Programa SAEG versão 8.0, e as comparações de médias pelo teste T a 5 % de probabilidade.

Caracterização anatômica

Foram obtidas amostras da região mediana da lâmina foliar e fixadas em FAA (formaldeído, ácido acético, etanol 50%, 1:1:18 v/v/v) (JOHANSEN, 1940). Estas foram preservadas temporariamente em etanol 50%. As amostras posteriormente foram desidratadas em série etílica/butílica terciária para inclusão em parafina sob vácuo (LEITÃO & CORTELAZZO, 2008), sendo obtidos cortes seriados longitudinais e transversais mediante emprego de um micrótomo rotativo regulado para 8 µm. Os cortes foram afixados em lâminas previamente tratadas com adesivo de Haupt, depois foram desparafinizados, hidratados e corados com Azul de toluidina (Colour Index – C.I. 52040) 0,025% em tampão McIlvaine pH4,0 (VIDAL), para caracterização estrutural e obtenção de metacromasia. Para montagem das lâminas, utilizou-se bálsamo-do-canadá (BERLYN & MIKSCHE, 1976) ou água (JOHANSEN, 1940). Para a documentação fotográfica, utilizou-se um microscópio fotônico, equipado com recurso de captura de imagem digital. Os procedimentos supracitados foram realizados utilizando cinco indivíduos em cada tratamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Parâmetros morfológicos (Figura 1)

De forma geral para os parâmetros morfológicos avaliados após três semanas de alagamento, não foram observadas grandes modificações na morfologia das folhas, mostrando que estes parâmetros são inerentes a este tipo de condição, ou por outro lado, indicam um

certo grau de tolerância ao alagamento. Outro fator a ser considerado diz respeito à pressão do estresse a que as mudas foram submetidas, o qual pode não ter sido suficientemente forte para modificar a morfologia foliar. Resultados semelhantes foram descritos em carnaúba (*Copernicia prunifera* (Mill.) H. E. Moore), na qual o alagamento do solo não afetou o crescimento da parte aérea, indicando que esta espécie apresenta alguma tolerância a tal condição (ARRUDA & CALBO, 2004).

Para a área foliar, houve diferença significativa entre os tratamentos apenas para a folha 3. As folhas pertencentes ao quinto nó do tratamento totalmente alagado apresentaram menor área foliar do que os demais tratamentos. Visando elucidar aspectos da tolerância à hipoxia em plantas de *Cecropia pachystachya*, Batista *et al.* (2008) observaram que a taxa de crescimento relativo (TCR) da raiz e do caule foi inferior em plantas alagadas, não havendo diferenças nesta taxa para as folhas e para a planta inteira. A não variação na TCR das folhas pode ter sido em função da maior esclerofilia foliar das plantas alagadas, que apresentaram menor área. Também foram observadas alterações morfoanatômicas em caules e principalmente em raízes de plantas alagadas.

A área específica foliar (AEF) relaciona a superfície da folha com o seu próprio peso, significando a disponibilidade de área por grama de folha. Em *S. terebinthifolius* a AEF da folha 3 foi menor para as mudas dos tratamentos T1 e T2, indicando que estas folhas foram as mais espessas, assim em T3 as folhas foram menos espessas pois apresentaram maior AEF. Essa medida é importante para entender relações hídricas da vegetação e os ciclos de carbono porque descreve a alocação da biomassa da folha por unidade de área da folha (ARAÚJO & HARIDASAN, 2007).

Quando o alagamento se estende a uma total ou parcial submersão do caule e folhas, as consequências para a vegetação são ainda maiores do que quando o solo é apenas encharcado, pois a submersão restringe a oxigenação e também o suprimento de dióxido de carbono para a fotossíntese. Além disso, com a submersão das folhas, a radiação incidente sobre esta fica reduzida, já que a luz é exponencialmente atenuada com o aumento da profundidade da água. (CRAWFORD, 1992; ARMSTRONG *et al.*, 1994).

Verificou-se que a espessura foliar foi menor em T3, concordando com os dados anteriores de AEF. Como esperado, o conteúdo de água foi maior em T3, já que as folhas estavam totalmente submersas. Para o tratamento T2 foi observado o menor teor de água, entretanto as folhas não apresentaram nenhum sintoma de murcha. Sabe-se que a permeabilidade mais baixa das raízes à água, frequentemente leva a um decréscimo do

potencial hídrico da folha e à murcha, embora este decréscimo seja temporário se os estômatos fecharem, evitando mais perda de água por transpiração (TAIZ & ZEIGER, 2004). Portanto, a manutenção da turgidez das folhas em T2 possivelmente se deve a um tipo de resposta a nível foliar para o excesso de água presente nas raízes.

Para a densidade estomática não foi observada diferença significativa entre os tratamentos, não havendo ao menos uma linha de tendência característica. Em geral, o número de estômatos por unidade de área foliar é maior em condições secas do que quando as plantas crescem sob condições úmidas. Isso é atribuído principalmente a uma redução na expansão das folhas de plantas que se encontram sob condições secas (SUTCLIFFE, 1980). Para aroeira-vermelha, esta característica pode não estar ligada a um mecanismo de tolerância ao alagamento. Em um estudo com indivíduos de *S. terebinthifolius* crescendo em área aberta e em capoeira, também não foi verificada diferença estatística para densidade estomática (CHIAMOLERA, 2008).

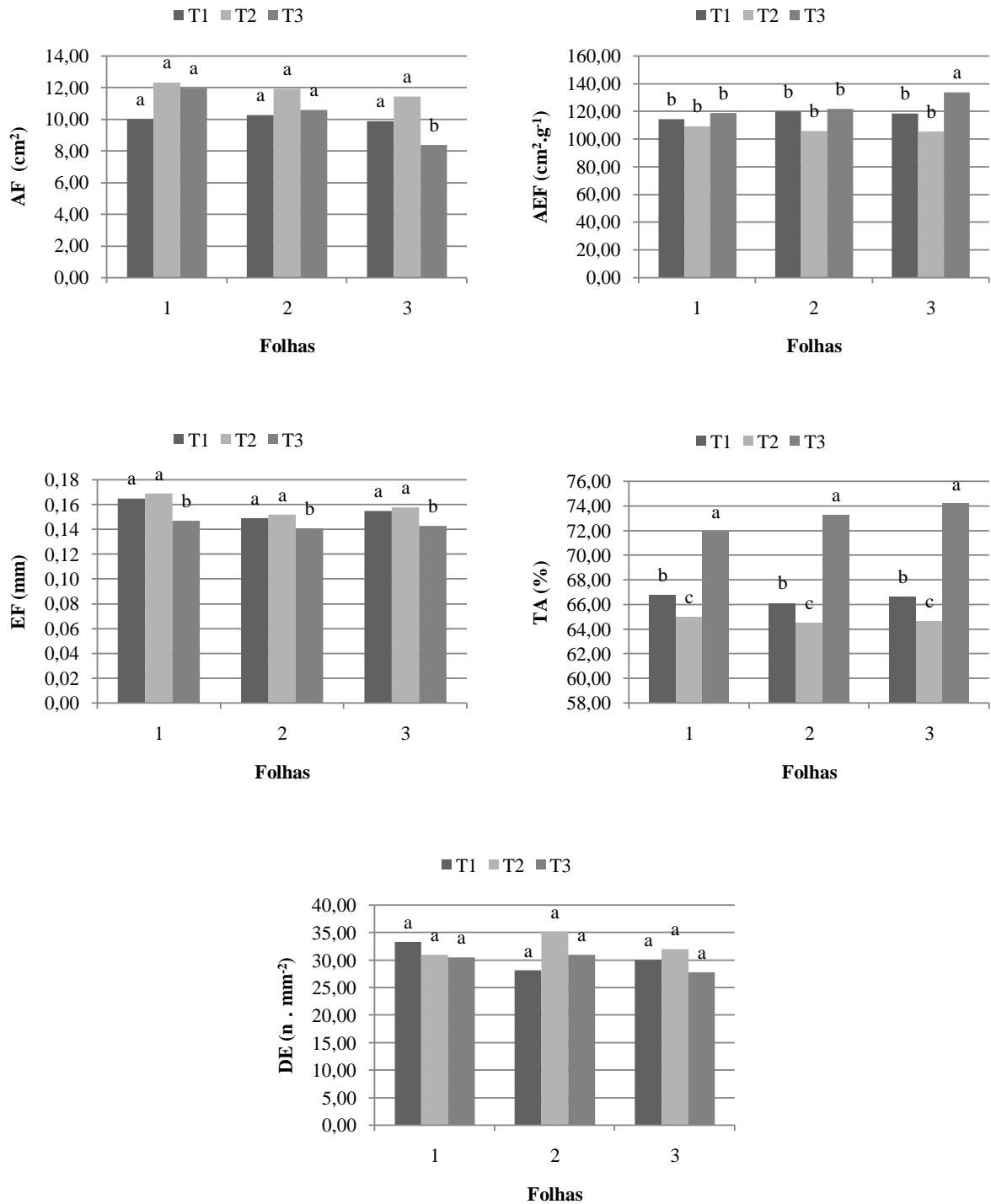


Figura 1: Área foliar (AF), Área específica foliar (AEF), Espessura foliar (EF), Teor de água foliar (TA) e Densidade estomática (DE) após três semanas da indução aos tratamentos em mudas de aroeira-vermelha. T1- testemunha (plantas irrigadas diariamente), T2- alagamento parcial (plantas alagadas até o coleto) e T3- alagamento total (plantas submersas). Valores médios seguidos de mesma letra para cada folha não diferem significativamente pelo teste T, a 5% de probabilidade.

Modificações fenotípicas adaptativas (Figura 2)

Com o alagamento parcial (T2) das mudas, foi observado a partir da segunda semana, o aumento visual da espessura da base do caule com o surgimento de lenticelas que posteriormente tornaram-se hipertrofiadas. O aparecimento de raízes adventícias só aconteceu a partir da quarta semana sob alagamento parcial. Resultados semelhantes foram obtidos por Pimenta *et al.* (1996) estudando *Jacaranda puberula* Cham. (Bignoniaceae) em condições de hipoxia por alagamento, onde observaram um significativo aumento da espessura da base do caule, com hipertrofia das células do tecido cortical, provocando inclusive rachaduras verticais pronunciadas. O desenvolvimento das plantas foi bastante afetado pelo alagamento, com abscisão de um grande número de folhas.

De acordo com Kolb *et al.* (1998), nos estudos da anatomia ecológica de *Sebastiania commersoniana* (Baillon) Smith & Downs (Euphorbiaceae), plantas alagadas desenvolveram lenticelas hipertróficas caulinares e algumas raízes adventícias. Davanso *et al.* (2002), observaram as modificações em *Tabebuia avellanodae* Lor. ex Griseb. (Bignoniaceae), que foi capaz de se adaptar a curtos períodos de alagamento. Isto se deve à capacidade de desenvolver estruturas que amenizam os efeitos do alagamento, promovendo uma difusão interna de oxigênio da parte aérea para as raízes, tais como rachaduras caulinares, raízes superficiais e lenticelas hipertrofiadas nas raízes.

O alagamento total (T3) das mudas produziu rachaduras caulinares que surgiram na segunda semana. A partir da terceira semana as lenticelas começaram a aumentar em tamanho e quantidade, entretanto sem apresentar hipertrofia característica, que consiste em protuberâncias esbranquiçadas. Durante estas semanas, em lugar de raízes adventícias, as mudas do tratamento T3 apresentaram epinastia, ou seja, a curvatura das folhas para baixo, e abscisão foliar. Tais efeitos, dependendo da espécie, podem não ocorrer em plantas submetidas ao alagamento.

Medri *et al.* (2007), pesquisando *Lithraea molleoides*, constataram que as plantas alagadas não apresentaram morte de raízes ou abscisão de folhas. Na base dos caules dessas plantas surgiram lenticelas hipertrofiadas. De acordo com Taiz & Zeiger (2004), condições de estresse aumentam a produção do hormônio etileno que induz a epinastia. Isto ocorre quando o precursor do etileno é transportado das raízes para a parte aérea. Estes mesmos autores fazem inferências sobre as evidências diretas do envolvimento do etileno na regulação da senescência foliar.

Em *T. avellanadae*, verificou-se que o alagamento e uma aplicação de "Ethrel" provocaram redução do crescimento e epinastia. Uma aplicação de nitrato de prata amenizou em certos aspectos estes efeitos. Alguns sintomas apresentados durante a inundação e a capacidade de desenvolver estruturas que amenizam os efeitos da hipoxia, como rachaduras corticais e hipertrofia de lenticelas nas raízes podem estar relacionados a aumentos na concentração de etileno nos tecidos da planta (DAVANSO *et al.*, 2003).

Sob condições de hipoxia, o crescimento da raiz é interrompido, morrem os ápices do sistema radicial, que entram em regiões da rizosfera com baixa concentração de oxigênio, e raízes adventícias se desenvolvem. Sob total ou quase total privação de oxigênio (anoxia), a respiração altera-se para uma desassimilação anaeróbia. Na ausência da oxidação terminal, o acetaldeído e o etanol acumulam-se. O ácido abscísico, o etileno e os precursores do etileno são formados em grandes quantidades, induzindo nas folhas um fechamento parcial dos estômatos, epinastia e frequentemente, abscisão (LARCHER, 2000).

As folhas do tratamento T1 apresentaram clorose a partir da sétima semana, uma vez que a última adubação foi realizada três semanas antes do início do experimento. As mudas do tratamento T2 começaram apresentar clorose na mesma semana do tratamento T1, as mudas do tratamento T3 apresentaram este sintoma já na segunda semana. A simulação de alagamento ao longo do tempo leva a um esgotamento de nutrientes do solo, o que pode acentuar a clorose (ISHIDA *et al.*, 2002). O alagamento do solo decresce a concentração de nitrogênio e o conteúdo total de nitrogênio nos tecidos das plantas intolerantes ao alagamento (Pezeshki, 1994; Kozlowski, 2002), os quais podem ser atribuídos ao declínio na disponibilidade de nitrato no solo, bem como, ao declínio na absorção e na assimilação do nitrogênio (Pezeshki, 1994). Embora sejam características do solo que determinam a intensidade das modificações na solução, a presença de plantas determinará alterações no processo, quer pela absorção de nutrientes, quer por modificações na rizosfera.

A partir da nona semana as mudas do tratamento T2 começaram apresentar morte de parte das raízes e deterioração das lenticelas hipertrofiadas, além de tendência ao tombamento. Possivelmente trata-se de um enfraquecimento decorrente do afrouxamento das células da base do caule, concomitante ao aumento de peso da parte aérea devido ao crescimento. As mudas do tratamento T3, além de apresentarem abscisão foliar bastante significativa, mostravam um escurecimento basípeto do caule, configurando uma necrose generalizada.

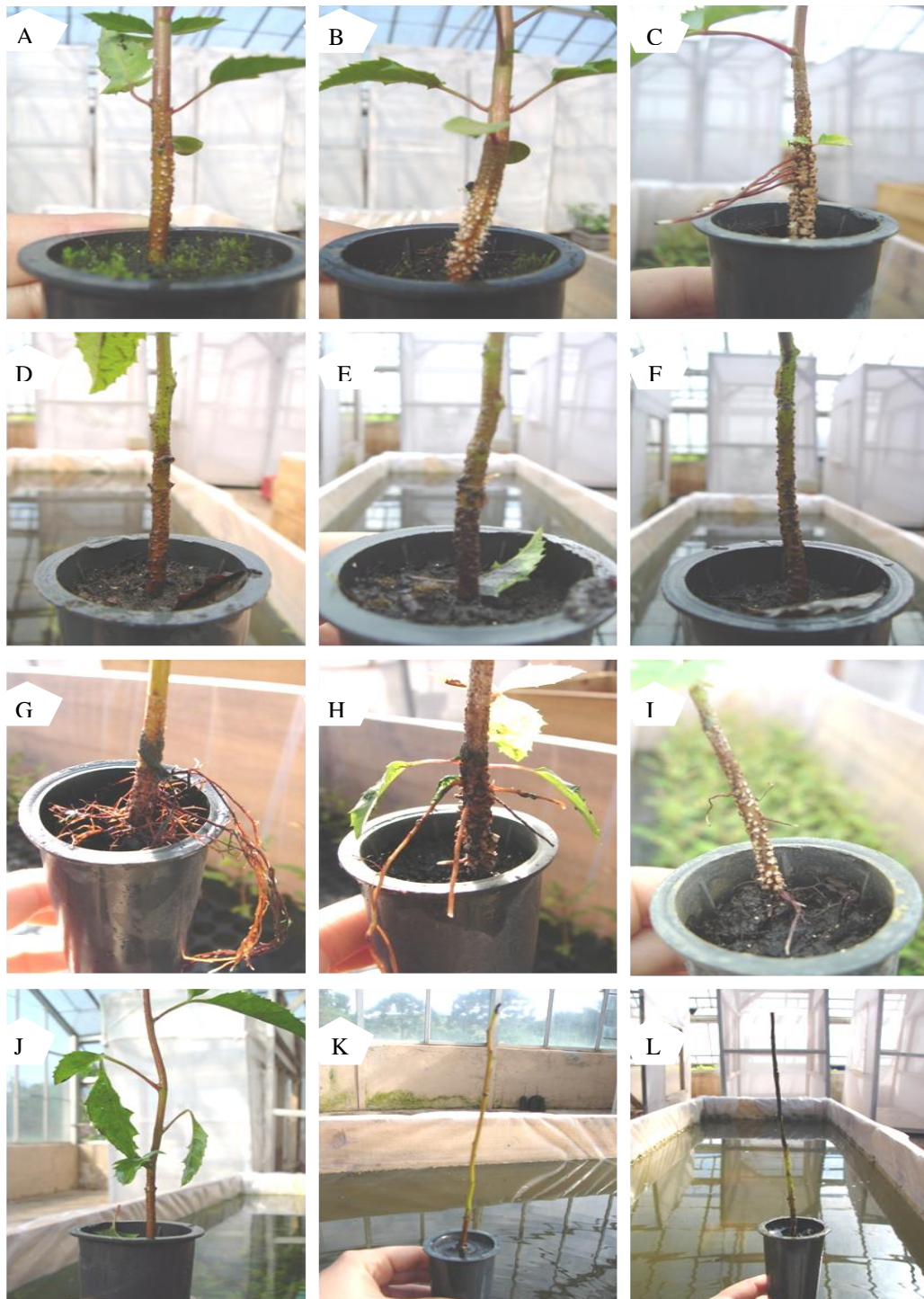


Figura 2. Adaptações fenotípicas apresentadas por mudas de aroeira-vermelha ao longo das semanas sob diferentes condições de alagamento. Formação das lenticelas (A), engrossamento da base do caule (B), lenticelas hipertrofiadas e raízes adventícias (C), em mudas de aroeira-vermelha parcialmente alagada (T2). Formação de lenticelas (D, E, F) em mudas totalmente alagadas (T3). Morte de raízes (G), deterioração das lenticelas hipertrofiadas (H), tendência ao tombamento (I) em mudas T2. Epinastia e abscisão foliar (J), escurecimento do caule (K, L) em mudas de T3. T1- testemunha (plantas irrigadas diariamente), T2- alagamento parcial (plantas alagadas até o coleto) e T3- alagamento total (plantas submersas).

Resultados semelhantes foram relatados por Bianchini *et al.* (2000), estudando as alterações anatômicas em plantas de *Chorisia speciosa* A. St. - Hil., nas quais o alagamento causou a morte de parte das raízes originais e as raízes restantes apresentaram baixa capacidade de regeneração. As plantas alagadas cresceram menos que o controle e formaram um grande número de lenticelas hipertrofiadas.

Características Anatômicas Foliares (Figura 3)

As folhas de *Schinus terebinthifolius* normalmente irrigadas (T1) possuem epiderme tabular, cujas células possuem paredes periclinais mais espessas que as anticlinais, observando-se campos de pontuação nestas últimas. A epiderme apresenta cutícula delgada e com ornamentações com formato de estrias paralelas e sinuosas. A folha é hipostomática (Fig. 3 E), os estômatos são do tipo anomocítico, corroborando com as informações de Metcalfe & Chalke (1950) para a família Anacardiaceae. Os estômatos estão no mesmo nível das células ordinárias ou pouco mais elevados (Fig. 3 D).

Na nervura principal ocorrem tricomas tectores unicelulares com paredes espessadas e com ponta aguda. No restante da superfície da lâmina foliar ocorrem tricomas glandulares clavados, formados por uma célula basal ao nível das ordinárias, uma célula pescoço e a cabeça contendo três a quatro camadas, cada uma com duas a quatro células, exceto a apical que contém uma a duas células (Fig. 3 C).

As epidermes são simples, e subjacente a ambas ocorre parênquima clorofiliano, divergindo das descrições anteriores para a espécie (CHIAMOLERA, 2008; DUARTE *et al.*, 2006) em que se relata uma hipoderme.

O mesofilo é dorsiventral (Fig. 3 A), onde o parênquima paliçádico possui duas camadas celulares. A superior tem células mais alongadas cujo conteúdo se cora de verde com azul de toluidina, indicando a presença de compostos fenólicos. O parênquima paliçádico chega a ocupar 60% do mesofilo, resultado semelhante ao observado por Duarte *et al.* (2006). O parênquima lacunoso possui três a cinco camadas de células isodiamétricas delimitando espaços intercelulares menos conspícuos que os outros tratamentos (Figs. 3 A, 3 D).

A nervura principal é biconvexa e possui duas calotas de colênquima angular que envolvem os feixes vasculares que são colaterais, e cuja característica marcante é a presença de ductos imersos no floema (Fig. 3 B). Essa característica é descrita por Metcalfe & Chalke, (1950) em gêneros de Anacardiaceae. Externamente a este tecido foi observado um arco

formado por duas a três camadas de células cujas paredes são espessadas e coram-se de azul claro com azul de toluidina (Fig. 3 B). Essas células, provavelmente, correspondem à bainha esclerenquimática incompleta em arco descritas por Duarte *et al.* (2006). Estes mesmos autores descreveram colênquima anular em localização semelhante ao colênquima angular no presente trabalho. Essa divergência com os nossos resultados possivelmente se deve ao fato das folhas aqui analisadas não estarem totalmente expandidas, portanto, o colênquima angular pode ainda não ter completado o espessamento de suas paredes tornando-se anular, conforme se relata na literatura (FAHN, 1985). Quanto às fibras da bainha, possivelmente ainda não estavam plenamente lignificadas, visto que não se coravam de verde com azul de toluidina.

No lúmen dos ductos não foi observada nenhuma secreção, o que quase certamente se deve a uma extração artefactual durante o processamento das amostras. Entretanto, pode ocorrer algum resíduo celular. Essa característica sugere uma origem lisígena a tais ductos, porém são necessários estudos ontogenéticos para elucidar o desenvolvimento dessas estruturas e estudos histoquímicos para inferir a natureza de sua secreção.

As demais nervuras possuem, em corte transversal, um cordão de colênquima angular que se estende da bainha do feixe até a epiderme. Os feixes vasculares mais calibrosos também possuem ductos no floema, semelhantes aos da nervura principal.

Uma peculiaridade anatômica marcante das Anacardiaceae é a presença de canais/cavidades secretores em órgãos vegetativos e reprodutivos. Os canais dos órgãos vegetativos de Anacardiaceae podem ser encontrados no floema primário, secundário e medula (METCALFE & CHALK 1950). Esses canais/cavidades produzem substâncias de uso medicinal, industrial e com efeitos alergênicos (JUDD *et al.* 1999).

Diferente do restante da lâmina foliar, o bordo não apresenta estômatos. Nesta região, ocorre algumas células subepidérmicas com espessamento de parede que se coram de roxo com azul de toluidina.

Idioblastos contendo compostos fenólicos e drusas de oxalato de cálcio ocorrem por toda lâmina foliar, principalmente, associados ao floema.

No tratamento parcialmente alagado (T2), as paredes periclinais da epiderme são mais espessadas que as encontradas em T1, cujo formato se assemelha a lentes biconvexas (Fig. 3 E). Tal adaptação, provavelmente atua concentrando os raios de luz para o mesofilo, conforme descrito por Bredenkamp & Van Wyk (1999) para *Passerina* (Thymelaeaceae).

A cutícula é mais delgada que no tratamento anterior. Os estômatos apresentam-se em um nível superior ao das células ordinárias (Fig. 3 E). De acordo com Esau (1976), a posição

dos estômatos pode ser analisada em função das adaptações ecológicas da planta. Estômatos localizados acima do nível das demais células epidérmicas são associados a um ambiente com grande suprimento de água, enquanto estômatos localizados em depressões, em geral, indicam um habitat caracterizado pelo baixo suprimento de água.

Os tricomas são idênticos aos descritos anteriormente, com o diferencial de apresentarem compostos fenólicos nas células da cabeça (Fig. 3 G). Muitos compostos fenólicos apresentam funções importantes nos vegetais, agindo como compostos de defesa contra situações de estresse (TAIZ & ZEIGER, 2004). Nos casos em que as plantas estão com estresse hídrico, os compostos fenólicos acumulados nos vacúolos garantem a manutenção do arcabouço celular e da integridade dos tecidos (APPEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELO-GUERREIRO, 2003).

O mesofilo apresenta parênquima paliádico com uma ou duas camadas celulares, contendo espaços intercelulares mais amplos que em T1 (Fig. 3 E). O parênquima lacunoso não difere no número de camadas, entretanto as células assumem formatos menos isodiamétricos, tendendo de formas alongadas à braciformes (Fig. 3 H). Conseqüentemente, os espaços intercelulares são mais numerosos e em maior tamanho que em T1. Os cloroplastos são maiores e em maior número que em T1, constatando-se a presença de amido, sob luz polarizada, na região do mesofilo. O bordo foliar permanece com as mesmas características.

A nervura principal, embora com espessura semelhante à da amostra T1, possui um número maior de células. Essa condição sugere uma proliferação celular em detrimento de sua expansão (Fig. 3 F).

Os feixes vasculares são como em T1, com compostos fenólicos nas células da bainha do feixe e do floema em contato com o ducto (Fig. 3 F).

No tratamento totalmente alagado (T3), as células epidérmicas possuem paredes periclinais com espessamento maior que o apresentado nos tratamentos anteriores. Em alguns locais são tão espessadas a ponto de quase colabar o lúmen celular. Este espessamento pode estar relacionado ao fator proteção contra um possível ataque de microrganismos presentes na água.

Os estômatos ocorrem em um nível pouco superior ao das células ordinárias, não sendo tão salientes quanto em T2 (Fig. 3 K). À primeira vista poderia se esperar que em T3 os estômatos fossem mais salientes que em T2, uma vez que a elevação dos estômatos aumentaria a ação das calotas de difusão (JARVIS & MCNAUGHTON, 1986) e,

consequentemente, o fluxo transpiratório. Entretanto, os estômatos em T3 encontram-se submersos, ou seja, incapazes de atuarem na transpiração. A posição das células estomáticas normalmente está associada ao ambiente, em folhas submersas os estômatos podem estar ausentes (APPEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELO-GUERREIRO, 2003). Portanto, pode-se inferir que em *S. terebinthifolius* submetido ao alagamento total há um direcionamento adaptativo fenotípico a um ambiente anóxico, no qual a função transpiratória é inibida e, consequentemente, os estômatos tenderiam a um processo de atrofia.

A cutícula é mais delgada, de difícil visualização. É amplamente difundida a informação de que a cutícula é responsável pela proteção contra perda de água, mediante a impermeabilização das folhas (FAHN, 1985; GIFFORD & FOSTER, 1989; APPEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELO-GUERREIRO, 2003). Assim sendo, nas folhas submersas a impermeabilização epidérmica é desnecessária.

O mesofilo apresenta uma a duas camadas de parênquima paliçádico, onde na superior prevalecem células contendo compostos fenólicos, conforme observado nos tratamentos anteriores. Os tricomas glandulares permanecem como descrito em T2, ou seja, contendo compostos fenólicos nas células da cabeça (Fig. 3 L). Provavelmente, o nível de alagamento em T2 já é estímulo suficiente para deflagrar a máxima produção de compostos fenólicos por esses tipos celulares.

De um modo geral, os espaços intercelulares no mesofilo são maiores que nos demais tratamentos (Fig. 3 I). No parênquima lacunoso, há agora o predomínio de células braciformes (Fig. 3 M). Estes sintomas são associados à ação do etileno, fitormônio gasoso produzido em condições de anoxia. Fenômeno semelhante de aumento de espaços intercelulares foi descrito no córtex radicular de *Chorisia speciosa*, o que foi interpretado como adaptação para uma maior difusão de oxigênio (BIANCHINI *et al.*, 2000).

As nervuras são menos calibradas que em T2 e em T1, observando-se uma redução dos tecidos de sustentação vasculares (Fig. 3 J), o que é comum em plantas higromórficas (APPEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELO-GUERREIRO, 2003). Quanto ao tamanho celular, relata-se aumento de volume por ação do etileno (SALISBURY & ROSS, 1992). Não obstante, se observou no presente trabalho uma redução no tamanho das células das nervuras das plantas que crescem em condições de alagamento.

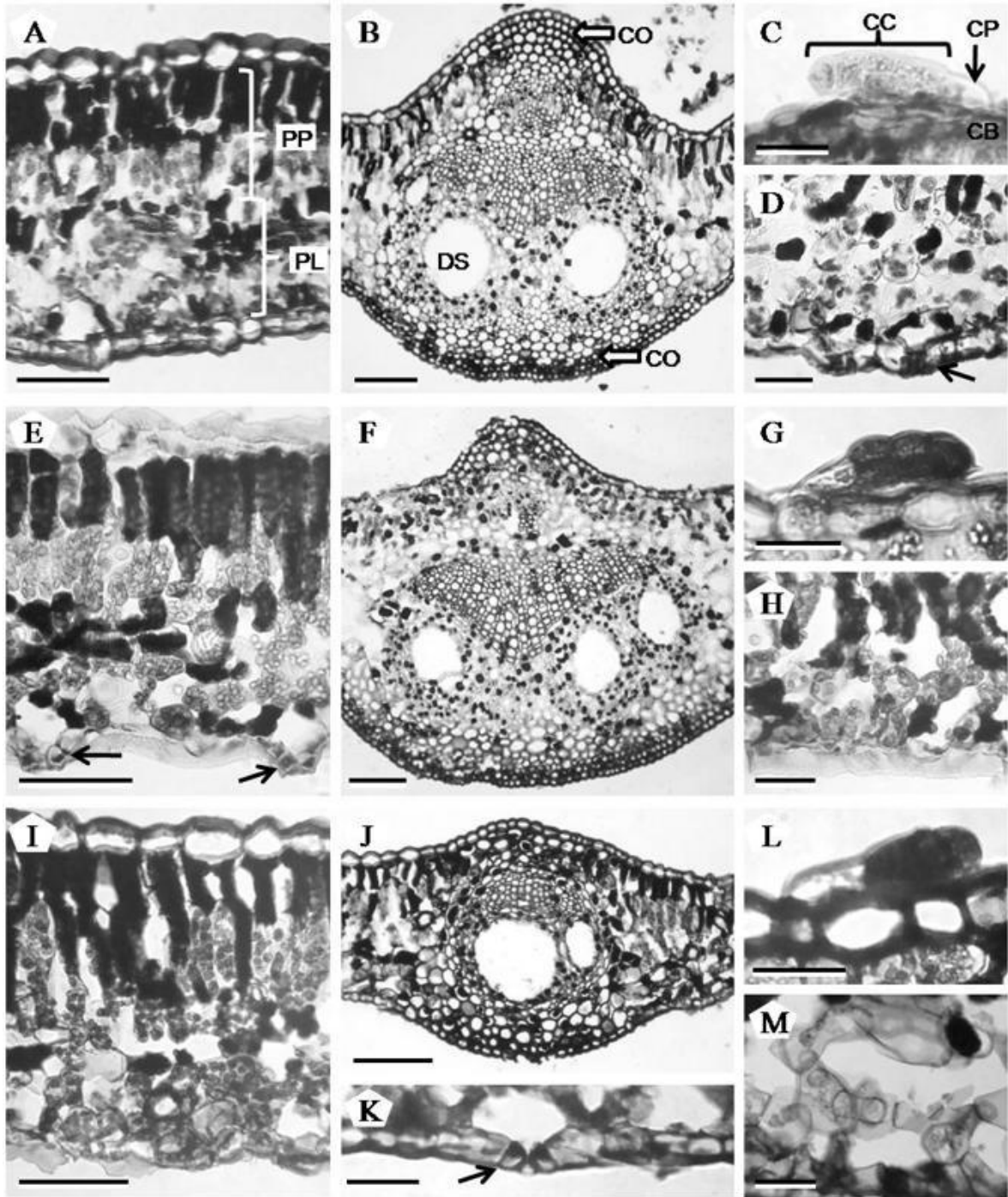


Figura 3: Cortes anatômicos da lâmina foliar de aoeira-vermelha sob diferentes condições de alagamento: T1 (A - D), T2 (E - H) e T3 (I - M). Detalhe do mesofilo (A, E, I), da nervura principal (B, F, J), dos tricomas secretores (C, G, L), do parênquima lacunoso (D, H, M) e da epiderme abaxial com estômato (K). Os estômatos estão indicados por setas em D, E e K. Legendas: CB- célula basal; CC- células da cabeça; CO- colênquima; CP- célula do pescoço; DS- ducto secretor; PL- parênquima lacunoso; PP- parênquima paliçádico. Barras de escala: 25 μ m (C, D, G, H, K, L, M), 50 μ m (A, E, I), 100 μ m (B, F, J). T1- testemunha (plantas irrigadas diariamente), T2- alagamento parcial (plantas alagadas até o coleto) e T3- alagamento total (plantas submersas).

CONCLUSÕES

As mudas de *Schinus terebinthifolius* desenvolveram modificações fenotípicas adaptativas nos dois níveis de saturação hídrica avaliados. Com o alagamento foi observado aumento da espessura da base do caule, clorose e abscisão foliar, surgimento de lenticelas e raízes adventícias. Entretanto as mudas desta espécie mostraram-se mais tolerantes ao alagamento parcial do que ao alagamento total no período de dez semanas.

De forma geral, para os parâmetros morfológicos avaliados após três semanas de alagamento, não foram observadas grandes modificações na morfologia das folhas, mostrando que estes parâmetros são inerentes a este tipo de condição, ou por outro lado, indicam certo grau de tolerância ao alagamento. Para a área foliar e AEF, houve diferença significativa entre os tratamentos apenas para a folha 3. Em T3, o teor de água foi maior e a espessura foliar menor. Quanto à densidade estomática, não houve diferença entre os tratamentos.

Quanto aos aspectos anatômicos, observou-se uma redução na espessura do mesofilo e das nervuras, assim como a produção e compostos fenólicos por alguns tipos celulares. Os espaços intercelulares são progressivamente mais amplos nas plantas submetidas ao alagamento.

S. terebinthifolius possui grande potencial de utilização em recuperação de áreas ripárias, uma vez que a plasticidade fenotípica apresentada por mudas desta espécie levou ao desenvolvimento de diversas adaptações morfoanatômicas em função dos diferentes níveis de saturação hídrica em função do tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELO-GUERREIRO, S. M. **Anatomia vegetal**. Editora Universidade Federal de Viçosa, 2003.

ARMSTRONG, W.; BRANDLE, R.; JACKSON, M. B. 1994. Mechanisms of flood tolerance in plants. **Acta Bot. Neerl.**, v. 43, n. 4, p. 307-358.

ARAÚJO, J. F.; HARIDASAN, M. Deciduidade e nutrientes em espécies nativas do cerrado **Revista Brasil. Bot.**, 30 (3): 533-542. jul.-set. 2007.

ARRUDA, G. M. T.; CALBO, M. E. R. Efeitos da inundação no crescimento, trocas gasosas e porosidade radicular da carnaúba (*Copernicia prunifera* (Mill.) H. E. Moore). **Acta bot. bras.** 18 (2) 219-224. 2004.

BATISTA, C. U. N.; MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; MEDRI, C.; PIMENTA, J. A. Tolerância à inundação de *Cecropia pachystachya* Trec. (Cecropiaceae): aspectos ecofisiológicos e morfoanatômicos. **Acta bot. bras.** 22(1): 91-98. 2008.

BERLYN, G. P.; MIKSCHE, J. P. **Botanical Microtechnique and Cytochemistry**. Iowa State University Press, Iowa, 1976.

BIANCHINI, E.; MEDRI, M. E.; PIMENTA, J. A.; GILONI, P. C.; KOLB, R. M.; CORREA, G. T. Anatomical alterations in plants of *Chorisia speciosa* A. St.- Hil. Submitted to flooding. **Revista Interciência.** 25(9). 436-441. 2000.

BOEGER, M. R. T.; KAEHLER, M.; MELO JÚNIOR, J. C. F.; GOMES, M. Z.; OLIVEIRA, L. S, CHAVES, C. R. M., SCHOTTZ, E. S. Estrutura foliar de seis espécies do subosque de um remanescente de Floresta Ombrófila Mista. **Hoehnea** 33(4): 521-531, 2006.

BREDENKAMP, C. L.; VAN WYK, A. E. Structure of mucilaginous epidermal cell walls in *Passerina* (Thymelaeaceae). **Bot. J. Linn. Soc.** 129: 223-238. 1999.

CRAWFORD, R.M.M. 1992. Oxygen availability as an ecological limit to plant distribution. **Advances in Ecological Research**, v. 23, p. 93-185.

CHIAMOLERA, L. B. **Comportamento de espécies arbóreas nativas implantadas em áreas com diferentes graus de sucessão no Reservatório Iraí – PR**. Tese do doutorado UFPR, Curitiba – PR, 2008.

CIRILO, L. F.; MEDRI, M. E. Estudos da tolerância a hipoxia em populações naturais de *Parapiptadenia rigida* Benth. Brenan (Leguminosae-Mimosoidae). **Resumo, XI Encontro Anual de Iniciação Científica**, 2002, Maringá – PR.

DAVANSO, V. M.; SOUZA, L. A.; MEDRI, M. E.; PIMENTA, J. A.; BIANCHINI, E. Photosynthesis, Growth and Development of *Tabebuia avellanedae* Lor. Ex Griseb. (Bignoniaceae) in Flooded Soil. **Braz. Arch. of Biol. and Technol.** 45(3) 375-384. 2002.

DAVANSO, V. M.; MEDRI, M. E.; SOUZA, L. A.; COLLI, S. *Tabebuia avellanedae* Lor. Ex Griseb. (Bignoniaceae) Submitted at the Flooding and the “Ethrel” and Silver Nitrate Application. **Braz. Arch. of Biol. and Technol.** 46 (1) 57-64, 2003.

DIAS, J.; PIMENTA, J. A.; MEDRI, M. E. Aspectos Morfológicos e Anatômicos de Folhas de Sol e Sombra de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae). **Anais do VI Congresso de Ecologia do Brasil**, Capítulo III Florestas Estacionais, p. 455-457. Fortaleza, 2003.

DUARTE, M. R.; TOLEDO, M. G.; OLIVEIRA, R. La B. Diagnose morfoanatômica de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi, Anacardiaceae). **Revista Visão Acadêmica – Curitiba**, 7(2) 05-13. 2006.

ESAU, K. **Anatomia das Plantas com Sementes**. Tradução: Berta Lange de Morretes, São Paulo, Edgard Blucher, 1976, reimpressão.

FAHN, A. **Anatomia vegetal**. Ed. Pirâmides. Madrid, 1985.

GAVILANES, M. L.; CASTRO, E. M. **Histologia e anatomia vegetal** – Curso de pós-graduação Latu Sensu: Biologia. 90 p. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998.

GIFFORD, E. M.; FOSTER, A.S. **Morphology and evolution of vascular plants**. 3 ed. W. H. Freeman and Company, 1989.

HURLBERT, S.H. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. **Ecological Monographs** **54**: 187-211. 1984.

ISHIDA, F. Y.; OLIVEIRA, L. E. M; CARVALHO, C. J. R.; ALVES, J. D. Efeitos da inundação parcial e total sobre o crescimento, de clorofila e fluorescência de *Setaria anceps* e *Paspalum repens*. **Revista Ciência Agrotec.**, Lavras. 26(6) 1152-1159. nov./dez., 2002.

JARVIS, P. G.; MCNAUGHTON, K. G. Stomatal control of transpiration: scaling up from leaf to region. In.: **Advances in ecological research**, vol. 15, 1986.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw-Hill Book, 1940. p. 41.

JUDD, W. S.; CAMPBELL, C. S.; KELLOGG, E. A.; STEVENS, P. F. ; DONOGHUE, M. J. **Plant Systematics. A Phylogenetic Approach**. Massachusetts, Sinauer Associates. 1999.

KOLB, R. M.; MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J. A.; GILONI, P. C.; CORREA, G. T. Anatomia ecológica de *Sebastiania commersoniana* (Baillon) Smith & Downs (Euphorbiaceae) submetida ao alagamento. **Revta Brasil. Bot.** São Paulo, 21(3). 305-312 1998.

KOZLOWSKI, T.T. Responses of woody plants to flooding. In **Flooding and plant growth** (T.T. Kozlowski, ed.). Academic Press, London, p.129-163. 1984.

KOZLOWSKI, T.T. Physiological-ecological impacts of flooding on riparian forest ecosystems. **Wetlands**, 22:550-561, 2002.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. RIMA, São Carlos. 531p. 2000.

LEITÃO, C. A. E.; CORTELAZZO, A. L. An inexpensive alternative equipment for the plant material embedding in the paraffin under the vacuum. **Braz. Arch. Biol. Technol.** 51(5). 1011-1014, Sept/Oct 2008.

LEITÃO, C. A. E.; MEIRA, R. M. S. A.; AZEVEDO, A. A.; ARAÚJO, J. M.; SILVA, K. L. F.; COLLEVATTI, R. G. Anatomy of the floral, bract, and foliar nectaries of *Triumfetta semitriloba* (Tiliaceae). **Can. J. Bot.** 83: 279-286, Canadá. 2005.

LOBO, P. C.; JOLY, C. A. Aspectos Ecofisiológicos da vegetação de mata ciliar do Sudeste do Brasil. In: **Matas Ciliares: Conservação e Recuperação**. 2- ed. – São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2001.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras – Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil**. Vol 1, 4ª edição, Nova Odessa, SP. Instituto Plantarum, 2002.

MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J. A.; DELGADO, M. T.; CORREA, G. T. Aspectos morfo-anatômicos e fisiológicos de *Peltophorum dubium* (Spr.) Taub. Submetida ao alagamento e aplicação de ethrel. **Revta. Brasil. de Bot.** 21, p. 261-267, 1998.

MEDRI, M. E.; FERREIRA, A. C.; KOLB, R. M.; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J. A.; DAVANSO-FABRO, V. M.; MEDRI, C. Alterações morfoanatômicas em plantas de *Lithraea molleoides* (Vell.) Engl. submetidas ao alagamento. **Acta Sci. Biol. Sci.** Maringá, v. 29, n. 1 p. 15-22, 2007.

METCALFE, C. R.; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons: leaves, stem, and wood in relation to taxonomy**. Oxford: Clarendon, v. 1, p. 452-62. 1950.

PEZESHKI, S.R. Plant response to flooding. In: Wilkinson, R.E. (ed.) **Plant-environment interactions**. New York, Marcel Dekker, p.289-321.1994.

PIMENTA, J. A.; MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; MULLER, C.; OKAMOTO, J. M.; FRANCISCONI, L. M. J.; CORREA, G. T. Aspectos da morfoanatomia e fisiologia de

Jacaranda puberula Cham. (Bignoniaceae) em condições de hipoxia. **Revta Brasil. Bot.** São Paulo, 19(2). 215-220, 1996.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. 2001. **Biologia Vegetal**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Plant Physiology**. California, Wadsworth Publishing Company, 1992.

SANTIAGO, E. J. A.; PINTO, J. E. B. P.; CASTRO, E. M.; LAMEIRA, O. A.; CONCEIÇÃO, H. E. O DA.; GAVILANES, M. L. Aspectos da anatomia foliar da pimenta-longa (*Piper hispidinervium* C.DC.) sob diferentes condições de luminosidade. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v.25, n.5, p.1035-1042, set./out., 2001.

SUTCLIFFE, J. F. 1980. **As plantas e a água**. EDUSP, São Paulo.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Trad. Eliane Romanato Santarém. 3ª ed. Porto Alegre: ed. Artmed, 2004.

VIDAL, B. C. Acid glycosaminoglycans and endochondral ossification: microspectrophotometric evaluation and macromolecular orientation. *Cell. mol. Biol.* 22: 45 – 64. 1977.

WITKOWSKI, E. T. F.; LAMONT, B. B. 1991. Leaf specific mass confounds leaf density and thickness. **Oecologia** 88: 486-493.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os estudos realizados neste trabalho de tese, foi possível levantar uma gama considerável de informações importantes, que permitem uma análise de forma específica ou de forma geral para cada capítulo. Embora a análise conjunta dos textos pareça complexa, é justamente este, o objetivo deste tipo de pesquisa. Em um resumo com as principais conclusões e particularidades de cada capítulo, é possível uma tentativa de interligar os resultados. Entretanto faz-se necessário um estudo mais criterioso, como por exemplo, uma correlação de todas as características com base numa análise estatística de componentes principais (PCA).

Os estudos de campo são fundamentais quando se trata de pesquisas voltadas para fins ambientais, principalmente quando se deseja identificar e analisar características que são próprias de determinada área. Os aspectos nutricionais e as variáveis ecofisiológicas exercem grande influência, não somente no comportamento vegetativo das plantas, mas sobretudo no seu desempenho em relação à capacidade de adaptação aos ambientes que necessitam ser reestruturados. Ainda assim, são poucos os trabalhos que abordam estes aspectos, em se tratando da recomposição de ambientes ciliares. Os teores de nutrientes foliares da espécie em estudo foram normais, levando em consideração as características dendométricas, idade e as condições pedológicas locais. Foram encontradas diferenças nas camadas superficiais do solo. Aos dois anos de implantação, comparações com dados iniciais de análise de solo, demonstraram modificações positivas no que diz respeito à fertilidade do solo. Os resultados demonstraram que houve influência da sazonalidade no comportamento ecofisiológico com diferenças relacionadas à densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos.

De modo geral foi observada em *S. terebinthifolius* a diminuição das trocas gasosas e dos teores de clorofila com o tempo e grau de inundação. Mesmo que as trocas gasosas tenham sido avaliadas apenas por um período limitado de tempo, há indicação desta espécie para programas de restauração de floresta ciliar. Isto, desde que, o regime hídrico da área a ser implantada se enquadre em suas limitações ecofisiológicas adaptativas, cerca de 14 dias em condições de alagamento total e 28 dias para condições de alagamento parcial. Estes resultados refletem respostas das plantas de *S. terebinthifolius* que podem estar associadas aos efeitos sinérgicos entre o tratamento e fatores como luz, temperatura, intensidade e duração do estresse. Faz-se necessário cuidado nas interpretações de respostas ao alagamento e sugere-se futuras pesquisas em ambiente controlado com climatização, para diminuir possíveis fonte de

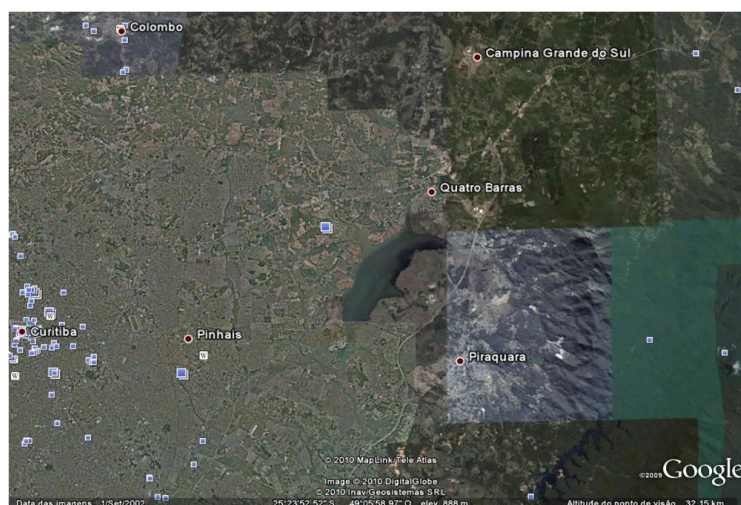
erros e também testar condições de trocas gasosas artificiais usufruindo e ampliando as possibilidades de estudos com o auxílio de um analisador de gás por infravermelho (IRGA) .

O crescimento e a qualidade das mudas também foram afetados pelo nível de alagamento e período de permanência sob esta condição, alterando alguns parâmetros morfológicos, as relações e o índice utilizado na avaliação. As mudas desenvolvidas sob maior grau de alagamento apresentaram os menores valores para as características morfológicas e avaliação da qualidade de mudas. É possível que haja questionamentos sobre a utilização da análise do desempenho de mudas para espécies submetidas a condições de estresse por inundação, uma vez que as respostas são bastante diferentes, principalmente em suas interpretações. Apesar da escassez de trabalhos com este enfoque, é muito importante saber como a espécie se adapta a condições adversas, para prever seu desempenho no campo com estas mesmas condições, além do aspecto de poder testar a aclimatação de indivíduos jovens em condições de estresse.

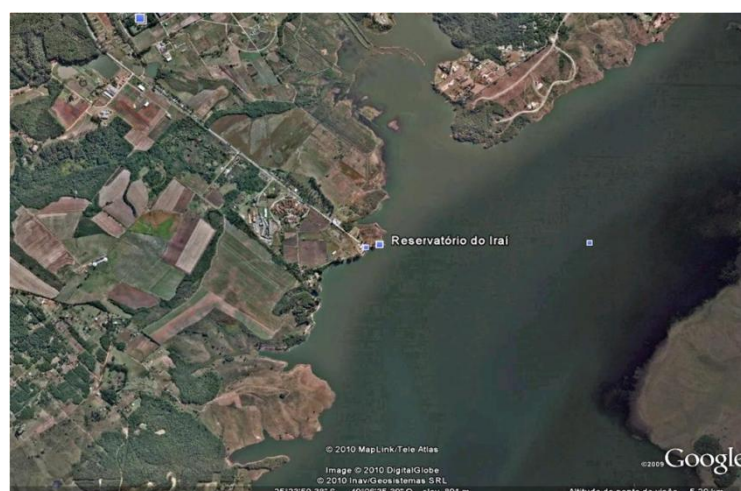
S. terebinthifolius possui grande potencial de utilização em recuperação de áreas ripárias, uma vez que a plasticidade fenotípica apresentada por mudas desta espécie levou ao desenvolvimento de diversas adaptações morfoanatômicas em função dos diferentes níveis de saturação hídrica. A maioria dos trabalhos de morfoanatomia que envolvem plasticidade fenotípica de espécies arbóreas em relação à alagamento, estudam basicamente a raiz, onde as características adaptativas são bastante visíveis. Entretanto, neste estudo, características adaptativas foliares em *S. terebinthifolius* foram observadas, tanto nos parâmetros morfológicos quanto na descrição anatômica dos tratamentos.

Avaliando os mecanismos adaptativos de *Schinus terebinthifolius* Raddi, foi demonstrada a importância desses conhecimentos e a necessidade de sua ampliação para outras espécies neotropicais, visando uma melhor compreensão das estratégias desenvolvidas por estas espécies nas diferentes condições ambientais. Estas informações são também fundamentais para o aperfeiçoamento dos modelos de recuperação de áreas degradadas de mata ciliar. Deve-se continuar a prática de estudos abrangentes em relação às respostas de espécies nativas, buscando uma visão integrada, em termos de estratégia de ocupação e sobrevivência nos diversos ambientes.

ANEXOS



A



B



C

ANEXO 1: APROXIMAÇÃO POR IMAGENS DE SATÉLITE DA LOCALIZAÇÃO DO AMBIENTE CILIAR, REPECTIVAMENTE (A, B, C) REPRESA IRAÍ, PARANÁ-BR.



ANEXO 2: ÁREA ABERTA ONDE FOI IMPLANTADO O EXPERIMENTO DE CAMPO ÀS MARGENS DA REPRESA IRAÍ, CURITIBA – PR.

A



B



ANEXO 3: ÁREA IMPLANTADA (A) E PLANTA DE AROEIRA-VERMELHA (B), EXPERIMENTO DE CAMPO ÀS MARGENS DA REPRESA IRAÍ, CURITIBA – PR.



ANEXO 4: ASPECTO DA ÁRVORE DE AROEIRA-VERMELHA, COLOMBO – PR.



ANEXO 5: ASPECTO DO RAMO DE AROEIRA-VERMELHA COM SEMENTES.

A



B



ANEXO 6: CASA DE VEGETAÇÃO UTILIZADA PARA A PRODUÇÃO DAS MUDAS DE AROEIRA-VERMELHA, VISÃO EXTERNA (A) E VISÃO INTERNA (B), VIVEIRO DA EMBRAPA FLORESTAS, COLOMBO – PR.



ANEXO 7: MUDAS DE AROEIRA-VERMELHA A PLENO SOL, VIVEIRO DA EMBRAPA FLORESTAS, COLOMBO – PR.

A



B



ANEXO 8: ASPECTOS DAS MUDAS DE AROEIRA-VERMELHA, VIVEIRO DA EMBRAPA FLORESTAS, COLOMBO - PR

A



B



ANEXO 9: ESTUFA ONDE FORAM REALIZADAS AS AVALIAÇÕES (A) E VISÃO GERAL DAS CAIXAS UTILIZADAS PARA SUBMISSÃO DOS TRATAMENTOS (B), VIVEIRO DA EMBRAPA FLORESTAS, COLOMBO – PR.

A



B



ANEXO 10: CAIXA RECOBERTA COM PLÁSTICO EM PROCESSO DE ENCHIMENTO COM ÁGUA (A) E ARRUMAÇÃO DAS BANDEJAS COM OS TUBETES (B), VIVEIRO DA EMBRAPA FLORESTAS, COLOMBO – PR.

A



B



ANEXO 11: CAIXA COM TRATAMENTO TESTEMUNHA (A) E MUDAS DE AROEIRA-VERMELHA SUBMETIDAS AO ALAGAMENTO PARCIAL (B), VIVEIRO DA EMBRAPA FLORESTAS, COLOMBO – PR.



ANEXO 12: CAIXA COM O TRATAMENTO TOTALMENTE ALAGADO, MUDAS DE AROEIRA-VERMELHA SUBMERSAS, VIVEIRO DA EMBRAPA FLORESTAS, COLOMBO - PR



ANEXO 13: ANALISADOR PORTÁTIL DE GASES POR INFRAVERMELHO MODELO LCPRO+ DA ADC BIOSCIENTIFIC LTD. UTILIZADO NAS AVALIAÇÕES DE TROCAS GASOSAS (A) E FOLÍOLO OCUPANDO METADE DA CÂMARA FOLIAR (B), VIVEIRO DA EMBRAPA FLORESTAS, COLOMBO – PR



ANEXO 14: COMFORMAÇÃO DAS RAÍZES APÓS SEREM RETIRADOS DO TUBETE (A) E APÓS SEREM LAVADAS (B), VIVEIRO DA EMBRAPA FLORESTAS, COLOMBO – PR. T1- TESTEMUNHA, T2- ALAGAMENTO PARCIAL E T3- ALAGAMENTO TOTAL.



ANEXO 15: ESCANNER ÓPTICO ACOPLADO AO PROGRAMA WIN RHIZO_ PRÓ V. 2002C, UTILIZADO PARA AS MEDIÇÕES DE COMPRIMENTO E VOLUME RADICIAL, CIÊNCIAS AGRÁRIAS, UFPR.