



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Departamento de Botânica

Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal



UFMG

CLICIANA HOLLANDA CAVALCANTI DE SÁ

**TROCAS GASOSAS, TOLERÂNCIA PROTOPLASMÁTICA E
ANATOMIA DO LENHO EM HANDROANTHUS SPP.
(BIGNONIACEAE) EM CONDIÇÕES DE DÉFICIT HÍDRICO**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Biologia Vegetal do Departamento de Botânica do Instituto
de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas
Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre
em Biologia Vegetal.**

Área de Concentração Fisiologia Vegetal e Ecologia

BELO HORIZONTE – MG

2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Departamento de Botânica

Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal



UFMG

CLICIANA HOLLANDA CAVALCANTI DE SÁ

**TROCAS GASOSAS, TOLERÂNCIA PROTOPLASMÁTICA E
ANATOMIA DO LENHO EM HANDROANTHUS SPP.
(BIGNONIACEAE) EM CONDIÇÕES DE DÉFICIT HÍDRICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal do Departamento de Botânica do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Biologia Vegetal.

Área de Concentração Fisiologia Vegetal e Ecologia

Orientador: Prof. Dr. Marcel Giovanni Costa França

Universidade Federal de Minas Gerais

Coorientador: Prof. Dr. Fernando Henrique Aguiar Vale

Universidade Federal de Minas Gerais

BELO HORIZONTE – MG

2017

043 Sá, Clíciana Hollanda Cavalcanti de.
Trocas gasosas, tolerância protoplasmática e anatomia do lenho em *Handroanthus* spp. (Bignoniaceae) em condições de déficit hídrico [manuscrito] / Clíciana Hollanda Cavalcanti de Sá. – 2017.

59 f. : il. ; 29,5 cm.

Orientador: Prof. Dr. Marcel Giovanni Costa França. Coorientador: Prof. Dr. Fernando Henrique Aguiar Vale.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal.

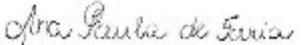
1. Fotossíntese. 2. Arborização das cidades. 3. Anatomia vegetal. 4. Tabeuia. 5. Bignoniaceae. I. França, Marcel Giovanni Costa. II. Vale, Fernando Henrique Aguiar. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Biológicas. IV. Título.

CDU: 581

Dissertação defendida e aprovada, em 28 de abril de 2017, pela
banca examinadora constituída pelos professores:


Dr. Marcel Giovanni Costa França (UFMG)


Dra. Rosy Mary dos Santos Isaias (UFMG)


Dra. Ana Paula de Faria (UFU)

*"Os que com lágrimas semeiam com
júbilo ceifarão. Aquele que sai andando e
chorando enquanto lança a semente,
voltará com cantos de alegria, trazendo
os seus feixes." Salmos 126:5,6.*

Dedico a minha família por serem os mais importantes semeadores na minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus em primeiro lugar, porque tudo que sou, tudo que tenho e o que vier a ser, vem de Ti Senhor!

Aos meus orientadores, Prof. Marcel França e Prof. Fernando Vale, por todos os ensinamentos, dedicação e discernimento que possibilitaram a realização deste trabalho e acrescentaram excelência profissional a mim e a pesquisa científica. Também pela amizade, gentileza e paciência quando tive dificuldades.

A banca, pela participação e disponibilidade para conclusão deste trabalho.

Ao Programa de pós-graduação em Biologia Vegetal, todos os professores, colegas e funcionários, pelo companheirismo, disposição, convivência e aprendizagem compartilhados.

Ao Jardim Botânico da Fundação ZooBotânica de Belo Horizonte, por ceder as mudas de ipês para esta pesquisa.

A todos que me ajudaram nos cuidados com os ipês, Felipe, Áurea, Dani, Cris, Paulo, Socorro, Jenny, Janaína e demais colegas que molharam ou carregaram meus ipês gigantes. Obrigada!!

A minha mãe Celma, que mesmo nos momentos de dor não se recusou a ser forte comigo e me ajudar a concluir mais essa etapa. Por todo seu amor, fé, esperança, ensinamentos e disposição, amo você! Ao meu pai Geraldo (*in memoriam*), por ter me amado até o fim e deixado sementes preciosas em minha vida para que eu não ficasse sozinha em sua ausência.

A meu marido Lucas e meu filho Fernando, pelo amor, alegria, compreensão e ajuda quando preciso, mesmo que estejamos cansados compartilhamos nossas forças e ultrapassamos os limites.

A UFMG, Capes, ICB e todos os brasileiros pelos investimentos na educação e na minha formação profissional.

Enfim, a todos que participaram dessa conquista. Muito Obrigada!!

SUMÁRIO

Resumo	7
Abstract	9
1 Introdução	10
2 Objetivo geral	13
2.1 Objetivos específicos.....	13
3 Material e métodos	14
3.1 Escolhas de espécies.....	14
3.2 Amostragem e delineamento experimental	17
3.3. Trocas gasosas em função da umidade do solo	17
3.4 Avaliação da liberação de eletrólitos após estresse hídrico induzido <i>ex vivo</i> por soluções de polietilenoglicol com diferentes potencias hídricos.....	20
3.4.1 Estimativa do tempo ideal de lavagem dos discos foliares	20
3.4.3 Cálculo do índice de dano de membranas	23
3.5 Análises anatômicas dos caules secundários	24
3.6 Análises estatísticas	24
4 Resultados e discussão	25
4.1 Avaliação das trocas gasosas	25
4.2 Tolerância protoplasmática avaliada <i>ex vivo</i> em diferentes valores de potencial hídrico induzido por PEG	34
4.2.1 Índice de dano de membrana	36
4.3 Análises anatômicas	40
5 Considerações finais.....	54
Referências	56

ABREVIATURAS

A - Assimilação líquida de CO₂

CE₀ – Condutividade elétrica inicial

CE_f – Condutividade elétrica final

CE_i – Condutividade elétrica imediatamente após o início da reidratação

CE_t – Condutividade Elétrica após autoclavagem

CO₂ – Dióxido de carbono

E - Transpiração

g_s - Condutância estomática

LE – Liberação de eletrólitos

IDM – Índice de dano de membrana

M_u - Massa úmida (g)

M_s - Massa seca (g)

MF – Massa fresca

MPa – Mega Pascal

U_g - Umidade gravimétrica

U_v - Umidade volumétrica

V - Volume da amostra (cm³)

Resumo

Belo Horizonte, MG, é conhecido popularmente como cidade-jardim devido à grande quantidade de jardins e áreas verdes, sendo também considerado como a cidade brasileira com maior ocorrência de ipês, estando o ipê-amarelo e o ipê-roxo com maior número de indivíduos seguido pelo ipê-branco, todos pertencentes ao gênero *Handroanthus* (Bignoniaceae). A legislação específica prevê que a utilização e manutenção de espécies arbóreas no ambiente urbano devem considerar os diferentes aspectos do crescimento e da fisiologia das árvores e, assim alcançar os seus múltiplos usos e benefícios socioambientais. Em contrapartida, pouco se conhece acerca dos efeitos dos estresses ambientais nas espécies arbóreas destinadas a esse fim. Estresses ambientais como a impermeabilização e compactação do solo, o aumento da temperatura média do ar, a alteração da composição gasosa atmosférica e poluição, a falta ou excesso de luz e de água, isoladamente ou em conjunto, impõem limitação significativa ao crescimento e desenvolvimento vegetal. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da seca em folhas e caules de três espécies de *Handroanthus*, cultivadas nas condições de casa de vegetação. Durante o cultivo em diferentes condições hídricas, foram avaliadas nas folhas, as trocas gasosas e a integridade do tecido foliar pela liberação de eletrólitos *ex vivo*, e no caule, a anatomia do xilema secundário. Os resultados da avaliação de trocas gasosas indicaram que *Handroanthus chrysotrichus* apresenta maior tolerância a falta de água do que os *Handroanthus roseoalbus* e *Handroanthus impetiginosus*, que apesar de significativa tolerância a seca não atingiram os níveis do *H. chrysotrichus*. Nos experimentos de avaliação da integridade foliar, a liberação de eletrólitos indicou maior tolerância dos *Handroanthus roseoalbus* e *Handroanthus impetiginosus* aos valores mais reduzidos de potencial hídrico aos quais foram submetidos, refletindo em menores índices de dano de membrana observados para essas espécies em comparação ao maior dano de membrana observado para o *H. chrysotrichus*. Na avaliação anatômica do xilema secundário, observou-se nas três espécies características que condicionam tolerância ao déficit hídrico. Os *H. chrysotrichus* e *H. impetiginosus* apresentaram características marcantes como fibras espessas, parênquima axial abundante e armazenamento de amido nas células parenquimáticas, dessa forma assemelhando entre si e, diferindo do *H. roseoalbus*, onde foram observadas fibras com maior e menor espessura, parênquima axial e amido reduzidos, sendo, portanto, a espécie mais sensível ao déficit hídrico. Os resultados deste estudo auxiliam na tomada de decisão quanto à escolha de espécies de ipês para arborização urbana nas condições das alterações climáticas avaliadas e pode direcionar as práticas de

manejo de mudas em viveiros destinadas ao plantio e à substituição arbórea mais adequada nas cidades.

Palavras-chaves: Fotossíntese. Arborização urbana. Anatomia da madeira. Ipê amarelo. Ipê branco.

Abstract

Belo Horizonte, MG, is known as “garden city” due to the number of gardens and green areas and is also a city which contain many ipês. Most of its species are yellow and purple followed by the white ipê, all belonging to the genus *Handroanthus* (Bignoniaceae). Specific laws state that the use and maintenance of trees in urban areas should take into consideration different aspects of growth and physiology, and therefore allow its several uses and social environmental services to be reached. Contrastingly, very little is known about the environmental stresses on these trees, such as impermeability and soil compaction, the increase of the average air temperature, the changes of atmospheric gases and pollution, and the lack and excess of light and water. These factors, together or separately, pose significant growth and plant development constraints. In this sense, the purpose of this study was to evaluate the effects of drought on leaves and stems of three *Handroanthus* species cultivated in greenhouse conditions. Plants were cultivated in different hydric soil conditions for the evaluation of leaf gas exchange and leaf tissue integrity through electrolyte releasing *ex vivo* and the anatomy of secondary xylem in stems. The results from the leaf gas exchange showed that the *Handroanthus chrysotrichus* had the most tolerance to water stress, even though the *Handroanthus impetiginosus* and *Handroanthus roseoalbus* were significantly tolerant to drought. In evaluating the leaf tissue integrity, the *H. roseoalbus* and *H. impetiginosus* were more tolerant to electrolyte releasing when compared to the lowest hydric potential values, to which they were submitted. This behavior reflected less membrane damage for this species in comparison to the greatest membrane damage in *H. chrysotrichus*. When analyzing the secondary xylem anatomy, all three species presented traits of tolerance to water deficit. Both *H. chrysotrichus* and *H. impetiginosus* had striking characteristics such as dense fibers, abundant axial parenchyma and starch storage in parenchyma cells, being similar to each other, and differing to *H. roseoalbus*. In this case, the least and most dense fibers were observed, reduced axial parenchyma and starch storage, and therefore becoming the most sensitive species to water deficit between the three. The results of this study have assisted in the selection of which species of ipês should be used for urban forestation when evaluating climate changes and may assist in managing the seedlings to be planted as well as considering the most appropriate substitutions.

Keywords: Photosynthesis. Urban greening. Wood Anatomy. Yellow ipê. White ipê. Purple ipê

1 Introdução

O ambiente urbano sofre modificações estruturais que intensificam os efeitos do clima e das mudanças climáticas globais, tais como, aumento da temperatura e da concentração de gás carbônico (CO₂), esses fatores associados ao estresse hídrico causado pela impermeabilização do solo, afetam o crescimento e a sobrevivência das árvores nas cidades. De acordo com Brun **et al.** (2012), os estresses ambientais urbanos podem ser comparados com situações de áreas degradadas. Para que as árvores estejam estabelecidas de forma harmônica nas cidades é importante conhecer os efeitos dos fatores ambientais no crescimento e na fisiologia das plantas no ambiente em constante alteração e muitas vezes adversos.

Belo Horizonte, Minas Gerais, possui área de aproximadamente 331 km², e está inserida nos biomas Mata Atlântica e Cerrado, apresentando clima ameno com verões chuvosos e invernos secos. A Serra do Curral lhe serve de moldura natural e referência histórica. De acordo com Belo Horizonte (2015), a cidade é conhecida popularmente como cidade-jardim devido à grande quantidade de jardins e áreas verdes, sendo também considerada como a cidade brasileira com maior ocorrência de ipês, estando o ipê-tabaco e o ipê-roxo com maior representatividade, além disso, na Região da Pampulha destaca-se a importância destas espécies por nomearem ruas como a Alameda do ipê branco e a Alameda do ipê amarelo, situadas no bairro São Luiz, além da presença abundante da espécie nos canteiros centrais e margens de importantes avenidas como a Carlos Luz e Antônio Carlos. Todos os anos, os ipês são admirados na Praça da Liberdade, revelando a população sua exuberante florada, o que justifica o reconhecimento de Belo Horizonte como “Cidade dos Ipês”.

A arborização em Belo Horizonte, MG, é densamente representada por bignoniáceas, principalmente os *Handroanthus* identificados como os ipês. Esse gênero apresenta características foliares próprias, tais como, folhas palmadas variando de 3 a 7 folíolos, entretanto, alguns caracteres peculiares nesses órgãos às distinguem em suas interações com o meio externo. A escolha das espécies adequadas para a arborização urbana é uma etapa de grande relevância, pois essa interage diretamente com os serviços urbanos, como iluminação e pavimentação, e assim influencia a longevidade das árvores nesse ambiente. Os ipês são muito utilizados na arborização urbana devido à beleza de seu porte e de suas flores, que podem ser brancas, amarelas e róseo-arroxeadas, isso torna seu uso ideal para parques e jardins. A algumas espécies também é atribuído o uso medicinal a partir da casca, por exemplo, *Handroanthus impetiginosus* (Lorenzi, 2002). A madeira dos *Handroanthus* é de ótima qualidade, muito

resistente às adversidades do ambiente. É útil em inúmeros trabalhos de carpintaria e marcenaria, além de ser usada na construção civil e naval (Lorenzi, 2008).

Bignoniaceae é muito conhecida devido aos diferentes representantes da família, ocorre em distribuição pantropical, com cerca de 120 gêneros e 800 espécies, apresentando hábitos arbóreo, arbustivo e trepador; entre elas, 100 são conhecidas popularmente como ipês, e incluídas atualmente nos gêneros *Handroanthus* e *Tabebuia*, sendo principalmente de ocorrência nas regiões neotropicais (Souza e Lorenzi, 2005). De acordo com Souza e Lorenzi (2008), no Brasil ocorrem alguns táxons endêmicos e o país apresenta-se como centro de diversidade da família, com 32 gêneros e 350 espécies, essas se distribuindo desde o Cerrado até florestas úmidas perenifólias. Sandwith e Hunt (1974) descreveram o gênero *Handroanthus* como sendo encontrados desde arbustos até árvores de grande porte. Apresentando folhas simples, 1-folíolo, ou palmada 3-7(-9) folíolos, com margem inteira ou serrada. Inflorescências em panículas axilares ou terminal, às vezes reduzidas à forma de fascículo. Cálice grosso, campanulado, turbinado ou tubular, lobado e muitas vezes mais ou menos bilabiado; corola cor-de-rosa, branca ou amarela, campanulado-afunilada ou afunilada, raramente em forma de salva, com tubo cilíndrico estreito, tubo glabro até fortemente pubescente na parte externa, muitas vezes pilosa por dentro na metade superior anterior, lobos glabros ou simplesmente ciliados até pubescentes ou pilosos; anteras glabras; disco em forma de prato ou taça; ovário oblongo, glabro ou escamoso, raramente tomentoso; óvulos 2-8 seriados em cada lóculo. O fruto é do tipo síliqua, e as sementes são bialadas e membranáceas.

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas - IPCC (2014) prevê alterações climáticas que intensificarão a sazonalidade hídrica e as ondas de calor nas diferentes regiões do planeta e com maiores efeitos às plantas dos ambientes urbanos. Segundo Santos e Carlesso (1998), a mensuração da reação da planta em relação aos fatores que afetam a atividade fotossintética, tais como, luminosidade, temperatura, concentração de CO₂ e a umidade do solo permite o manejo adequado de plantas, e no caso de espécies nativas, torna o seu uso mais eficiente, pois pode contribuir no aumento da taxa de sobrevivência dos indivíduos e na obtenção de mudas precoces e mais rústicas. É notória a essencialidade que se tem em entender os efeitos da sazonalidade dos fatores ambientais na fisiologia e crescimento das espécies de valor econômico, social, paisagístico e ecológico, grupo este em que as espécies de *Handroanthus* se incluem (Cabral, Barbosa e Simabukuro, 2004). Entretanto, as consequências do estabelecimento das árvores no ambiente urbano frequentemente dificulta o desenvolvimento das raízes, ocasionando menor resistência à quebra por ventos e chuvas

devido à instabilidade motivada pela formação de raízes superficiais; temperatura elevada devido a maior refletância solar na superfície edificada dos grandes centros; dano físico provocado por vandalismo, e ainda, déficit hídrico imposto por chuvas irregulares e baixa infiltração da água no solo, sendo tais fatores agravados ainda mais pelas mudanças climáticas globais (CEMIG, 2011). Outro agravante é a carência de estudos científicos abordando as características ecofisiológicas de espécies arbóreas potenciais para uso urbano, o que reforça a importância das pesquisas com este objetivo. De acordo com Loboda (2005), a arborização sem planejamento ocorre principalmente pela carência de contribuições técnicas e de literatura especializada que possam nortear o manejo da floresta urbana.

Em relação às respostas das plantas aos estresses ambientais, em geral os aspectos fisiológicos são relativamente mais estudados. Por outro lado, o mesmo não acontece no estudo dos efeitos dos estresses na morfologia de plantas. Considerando que o impacto dos estresses se impõe no organismo como um todo a abordagem morfofisiológica permite maior entendimento das respostas das plantas aos fatores ambientais e o estabelecimento de parâmetros morfofisiológicos que direcionem o manejo de mudas e árvores. Dentre os limitantes abióticos ao estabelecimento de plantas, a água tem participação fundamental. Espécies que apresentam mecanismos hidráulicos mais eficientemente adaptados ao local que se estabelecem podem alcançar melhor desempenho fotossintético e maior crescimento. A estrutura do xilema tem grande influência na capacidade de absorção e retenção de água pela planta. É previsto que elementos condutores de maior calibre promovam maior ascensão da água, porém estão mais vulneráveis a eventos de cavitação (Carvalho, 2014; Caldeira Junior, 2009). O déficit hídrico induzido pelo contexto urbano aliado a estimativas de mudanças climáticas, que preveem períodos mais extensos de seca, podem determinar a sobrevivência ou não das árvores nos espaços construídos e os ipês, como população arbórea expressiva nesses locais, necessitam de manejo adequado para que se desenvolvam e seja presença eficaz e agradável nas cidades. Alves *et al.*, (2012) reconhecem que a anatomia da madeira se faz excelente ferramenta para correta identificação das madeiras comerciais ou com fins ecológicos e, as características macroscópicas, como odor, sabor, densidade e dureza permitem juntamente com as características microscópicas, o acesso as informações sobre identificação, propriedades e uso correto das espécies arbóreas, o que também contribui no entendimento fisiológico e promove maximização dos benefícios da utilização de árvores

2 Objetivo geral

Avaliar as respostas fisiológicas e as diferenças morfológicas do eixo caulinar entre três espécies de *Handroanthus* sp. submetidas a diferentes condições que simulem a condição de disponibilidade hídrica encontrada em áreas urbanas, visando o norteamento da implantação das árvores nas cidades.

2.1 Objetivos específicos

- Avaliar as trocas gasosas em função do decréscimo da umidade do solo para as três espécies de ipês *in vivo*;
- Mensurar *ex-vivo* a liberação de eletrólitos celulares provocada por soluções aquosas de PEG-6000 de diferentes potenciais hídricos entre as espécies de ipês em estudo;
- Relacionar a anatomia do lenho em cada espécie ao comportamento ecofisiológico das mesmas considerando que as espécies são caducifólias e provavelmente seus mecanismos de resistência ao estresse hídrico estejam concentrados no xilema secundário.
- Comparar entre as três espécies, as respostas obtidas em cada item avaliado na execução deste trabalho e associá-las ao uso dessas árvores para arborização urbana.

3 Material e métodos

3.1 Escolhas de espécies

As mudas usadas nesse trabalho foram cedidas pelo Jardim Botânico da Fundação ZooBotânica de Belo Horizonte, diante disso, a escolha das espécies fundamentou-se na morfologia externa distinta entre elas segundo critérios de quantidade de folíolos (Figura 1), folhas pilosas ou glabras e a representação de cada uma das três cores de flor encontrada no gênero, sendo, branca, amarela e roxa. Esses caracteres evidenciam comportamentos diferentes em relação a resposta fisiológica condicionante a tolerância ao estresse hídrico. Foi considerada também a disponibilidade de plantas homogêneas em relação à idade, ao tamanho e ao maior uso das espécies para arborização da cidade. Dessa forma, as espécies selecionadas foram: *Handroanthus chrysotrichus* - apresenta folhas compostas palmadas 5-folioladas, coriáceas, ásperas, densamente pubescentes em ambas as faces, flores sésseis amarelas e porte baixo na maturidade; *Handroanthus impetiginosus* - apresenta folhas palmadas compostas por 5 ou 7 folíolos glabros, flores em cacho globoso variando em tons de rosa e roxo e grande porte na maturidade; *Handroanthus roseoalbus* - apresenta folhas palmadas compostas por 3 folíolos pouco pilosos e coriáceos, flores brancas e porte médio na maturidade. As espécies foram identificadas botanicamente através de literatura especializada (Gentry, 1992; Grose e Olmsted, 2007b).

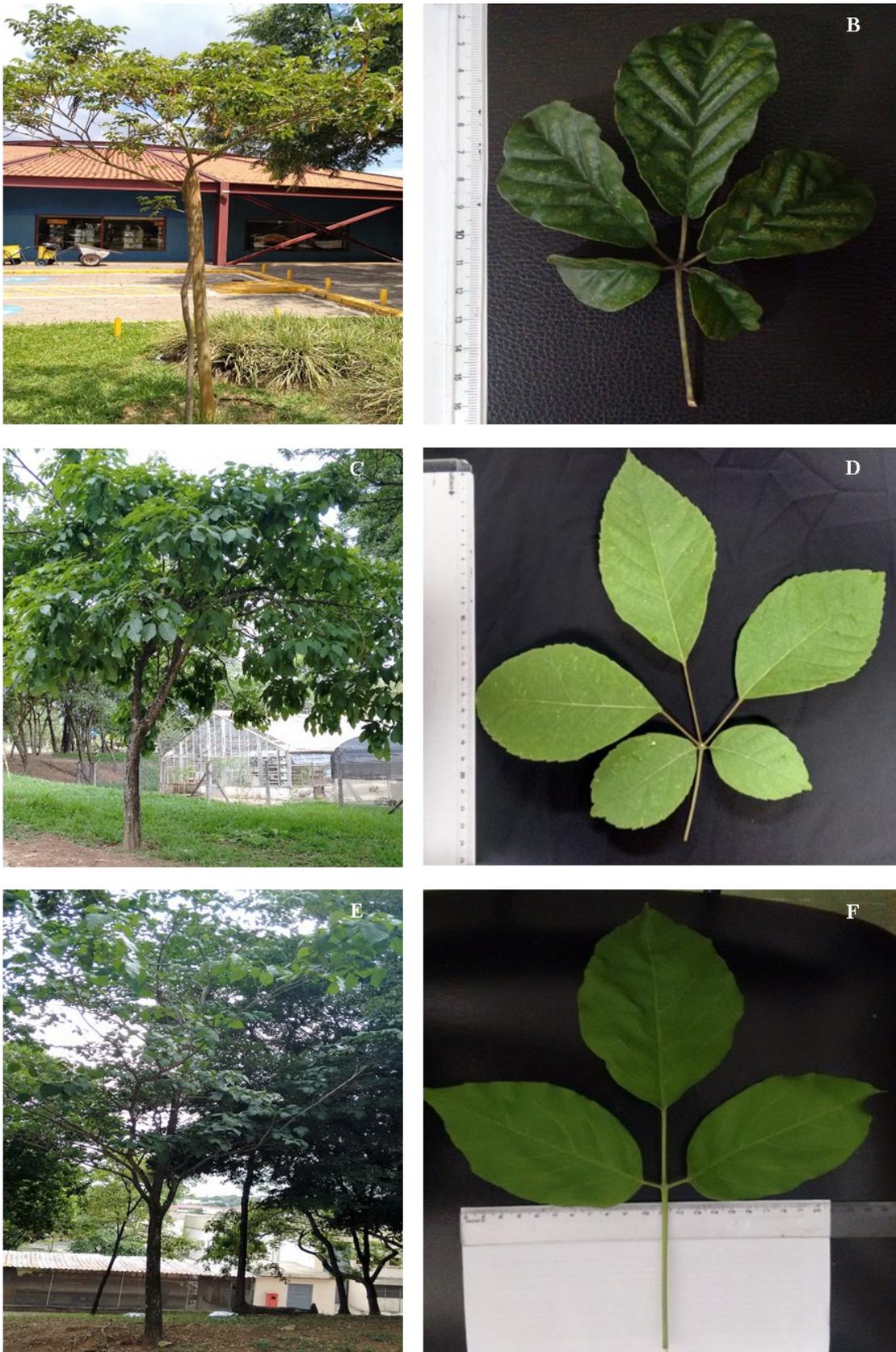


Figura 1- Aspecto geral das árvores e folhas dos ipês.

(a, b) *Handroanthus chrysotrichus*; (c, d) *Handroanthus impetiginosus*; (e, f) *Handroanthus roseoalbus*.



Figura 2 - Copacaba em época de florescimento e flores dos ipês.

(a, b) *Handroanthus chrysotrichus*; (c, d) *Handroanthus impetiginosus*; (e, f) *Handroanthus roseoalbus*.

3.2 Amostragem e delineamento experimental

Avaliou-se os indivíduos agrupados de acordo com as espécies, sendo: grupo 1- *Handroanthus chrysotrichus*; grupo 2- *Handroanthus roseoalbus*; grupo 3- *Handroanthus impetiginosus*. Em cada espécie, foram estabelecidos dois experimentos num delineamento inteiramente casualizado (DIC) para avaliar a tolerância dessas ao estresse hídrico, sendo eles:

A- Trocas gasosas em função da umidade do solo.

B- Avaliação da liberação de eletrólitos devido a estresse hídrico *ex vivo* em soluções com diferentes potenciais hídricos.

Após prévia análise do solo em que as plantas estavam desenvolvidas, a qual determinou o mesmo tipo de solo para todas as plantas e a correção da adubação, foi verificado o comportamento das mesmas em relação aos experimentos, sendo que, todas eram oriundas de sementes e tinham a mesma idade, aproximadamente doze meses, quando a experimentação foi iniciada. Ao fim dos experimentos foram feitas as análises anatômicas do xilema secundário, a fim de caracteriza-los.

3.3. Trocas gasosas em função da umidade do solo

Para avaliar as respostas de trocas gasosas das três espécies em função do estresse hídrico, foram selecionadas as primeiras folhas totalmente expandidas a partir do ápice caulinar de 12 plantas de cada espécie, utilizou-se para as análises o medidor de trocas gasosas IRGA (*Infra Red Gas Analyser* Li-cor LI-6400XT) que através de valores de condutância estomática (g_s), transpiração (E) e assimilação líquida de CO_2 (A), permite a análise da eficiência de uso da água pela planta. Após período de aclimação das mudas em casa de vegetação a pleno sol, as medidas foram realizadas entre 7h e 11h da manhã durante os meses de junho e julho de 2016. Para condução dos tratamentos com imposição do déficit hídrico seguiu-se método gravimétrico a fim de mensurar a quantidade de água no solo, e assim estabelecer os níveis de queda em 100, 75, 50, 25 e 0 por cento em relação à capacidade total de retenção de água do solo.

Devido ao crescimento prévio das plantas em viveiro, elas apresentavam ligeiras variações na quantidade de solo dentro do recipiente e diferenças no crescimento, apesar de possuírem a mesma idade, o que resultava em pesos totais diferentes entre as plantas. Esses fatores dificultavam o controle da quantidade de água necessária em cada planta para a indução do estresse hídrico. Devido a isso, foi necessário adequar o experimento ao conceito de umidade gravimétrica e volumétrica, de forma que, pudesse ser medida a quantidade de água retida pelo

solo. Dessa forma, foram retiradas três amostras do solo contido em indivíduos de cada espécie e, pesadas a massa úmida e a massa seca em estufa a 60°C. Também foi medido o volume total das amostras do solo através de recipientes de volume conhecido. A partir dos cálculos de umidade obtidos com a Equação 1, foi então escolhida a umidade gravimétrica, a qual se mostrou mais adequada as pesagens para mensuração do estresse por considerar variáveis somente relacionadas a massa dos indivíduos pois, durante a imposição do estresse hídrico as plantas eram pesadas com balança conforme o exemplo abaixo.

Equação 1:

$$Ug(\%) = \frac{Mu - Ms}{Ms} \quad (\mathbf{a}) \qquad Uv(\%) = Mu - \frac{Ms}{V} \quad (\mathbf{b})$$

Sendo: Ug = umidade gravimétrica; Uv = umidade volumétrica; Mu = massa úmida (g); Ms = massa seca (g); V = volume da amostra (cm³).

Peso de cada planta

Exemplo:

- Indivíduo 100% úmido = **10 kg**

$Ug\% = 27\%$

27 kg H₂O --- 100kg solo

X --- 10 kg solo

X = 2,7 kg H₂O

100% --- 10kg

75% --- 9,3 kg

50% --- 8,6 kg

25% --- 7,9 kg

0% --- 7,2kg

Portanto, resultou-se para ipê branco $Ug = 29\%$; ipê roxo $Ug = 35\%$; ipê amarelo $Ug = 30\%$.

Após os ajustes anteriores, foram então estabelecidas porcentagens gradativas de água no solo para avaliação das trocas gasosas pela planta. Em fatorial 2x3, foram amostradas 12 plantas, sendo 6 mantidas 100% irrigadas para as plantas Controle, e outras 6 submetidas as porcentagens 100; 75; 50; 25; e 0, sendo que, o decréscimo foi determinado a partir da perda de água diária por planta, observando-se que tal perda permanecia próxima a 25% do valor pesado no dia anterior. Diante disso, as trocas gasosas foram medidas em cada bloco em rodízio,

sendo o mesmo bloco medido num intervalo de dois dias, tempo necessário para as medições dos outros blocos e o estabelecimento da porcentagem de umidade desejada no bloco determinado. As plantas foram mantidas em estresse hídrico até que fosse observada a queda da assimilação líquida de CO₂ (*A*) próxima a 1,0 μmol m⁻² s⁻¹, para isso, foram necessários cerca de 15 dias.

Para obtenção de medidas pontuais das trocas gasosas a intensidade de luz necessária à saturação fotossintética foi determinada. O aumento gradual da intensidade de luz permitiu a avaliação do comportamento da assimilação líquida de CO₂ (*A*). Para os ipês, foram avaliadas 8 plantas em cada espécie e dessa forma verificou-se que em torno dos 1000 μmol m⁻²s⁻¹ ocorria a saturação da fotossíntese para as três espécies (Figura 3).

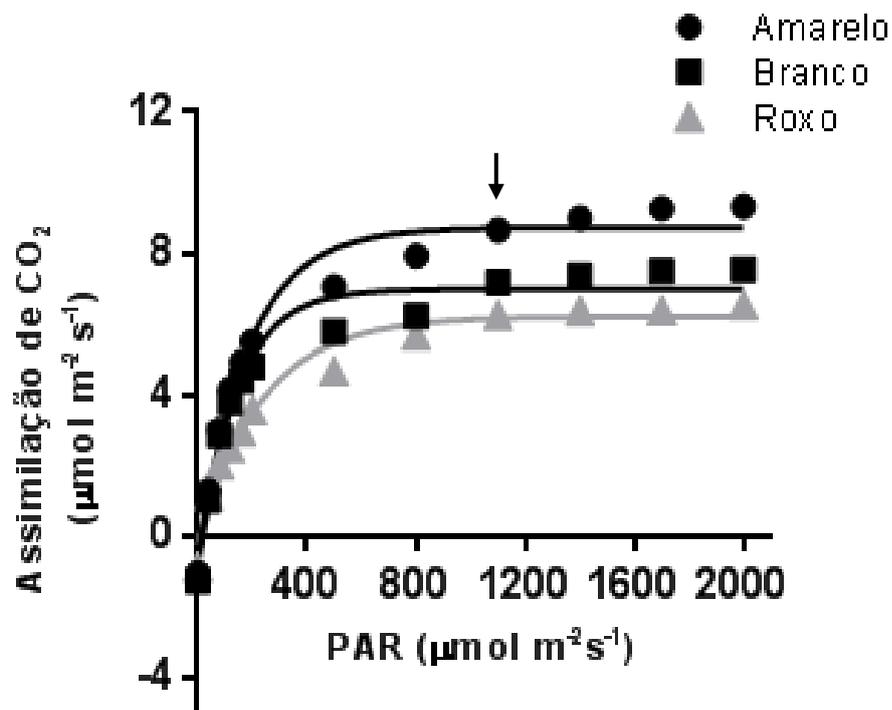


Figura 3- Relação entre intensidade de luz e assimilação de CO₂ em *Handroanthus* – *H. chrysotrichus* (ipê amarelo); *H. roseoalbus* (ipê branco) *H. impetiginosus* (ipê roxo). Seta = ponto de saturação fotossintética

3.4 Avaliação da liberação de eletrólitos após estresse hídrico induzido *ex vivo* por soluções de polietilenoglicol com diferentes potenciais hídricos

Folhas jovens intactas e completamente expandidas foram coletadas para a condução dos experimentos a partir de plantas mantidas sempre irrigadas. Amostras quintuplicadas contendo 10 discos foliares, para cada espécie (1 cm de diâmetro) foram submetidas ao estresse hídrico por imersão em soluções de polietilenoglicol 6000 (PEG-6000), preparadas de acordo com Money (1989), para obtenção dos seguintes potenciais hídricos (Ψ_H): -1,0, -2,0, -3,0 e -4,0 MPa e, água deionizada estabelecida como tratamento controle ($\Psi_H = 0$ MPa). Os potenciais foram estabelecidos de acordo com potenciais hídricos foliares medidos por Dombroski *et al.* (2011) e Dombroski *et al.* (2014) para espécies de ipês e outras espécies arbóreas da Caatinga, esses autores encontraram o valor mínimo no *predawn* -0,5MPa e o máximo no *midday* -3,5MPa, dessa forma, estabeleceu-se uma série de valores que poderiam influenciar a resposta fisiológica das plantas desse experimento. O potencial hídrico de cada solução de PEG-6000 foi confirmado por análises ao osmômetro de déficit de pressão de vapor Wescor 5100C (Wescor Inc., Logan, UT). Os discos foliares sob tais tratamentos foram então mantidos na ausência de luz e temperatura ambiente por um período de 15 h. Após o período de imposição do estresse, foram realizados testes de liberação de eletrólitos (LE) e o consequente índice de dano de membranas (IDM). Os dados obtidos em tais testes permitiram a observação da resposta celular nas espécies em relação ao déficit hídrico.

3.4.1 Estimativa do tempo ideal de lavagem dos discos foliares

O teste de lavagem para liberação de eletrólitos (LE) foi realizado para determinação do tempo necessário para que os eletrólitos liberados devido ao dano mecânico causado pelo corte dos discos fossem retirados, de forma que, posteriormente, fosse mensurada somente a liberação de eletrólitos resultante do estresse hídrico imposto pelas soluções de PEG. Esse experimento foi realizado de acordo com Bajji *et al.*, (2002) modificado por Faria *et al.*, (2013). As amostras foram preparadas em tubos Falcon de 50 mL, imergindo os discos foliares em 20mL de água desionizada e agitando durante todo o processo. Em seguida, a cada 15 minutos foi medida a condutividade elétrica na solução (CE_f), com um condutivímetro digital portátil Digimed®, até 180 minutos após imersão dos discos (CE_0). A liberação de eletrólitos foi determinada de acordo com a Equação 2, sendo que foi desprezada a massa fresca (MF) dos discos por terem sempre 1 cm de diâmetro (Prášil e Zámečník, 1998).

Equação 2:

$$LE = \frac{CE_f - CE_0}{MF}$$

Verificou-se que após 15 min de imersão dos discos em água e agitação das amostras, grande quantidade dos eletrólitos eram liberados em decorrência do dano mecânico, ocorrendo dessa maneira nas três espécies de ipês (Figura 4). Dessa forma, determinou-se esse tempo de lavagem dos discos como sendo suficiente para a remoção de eletrólitos provenientes do dano mecânico.

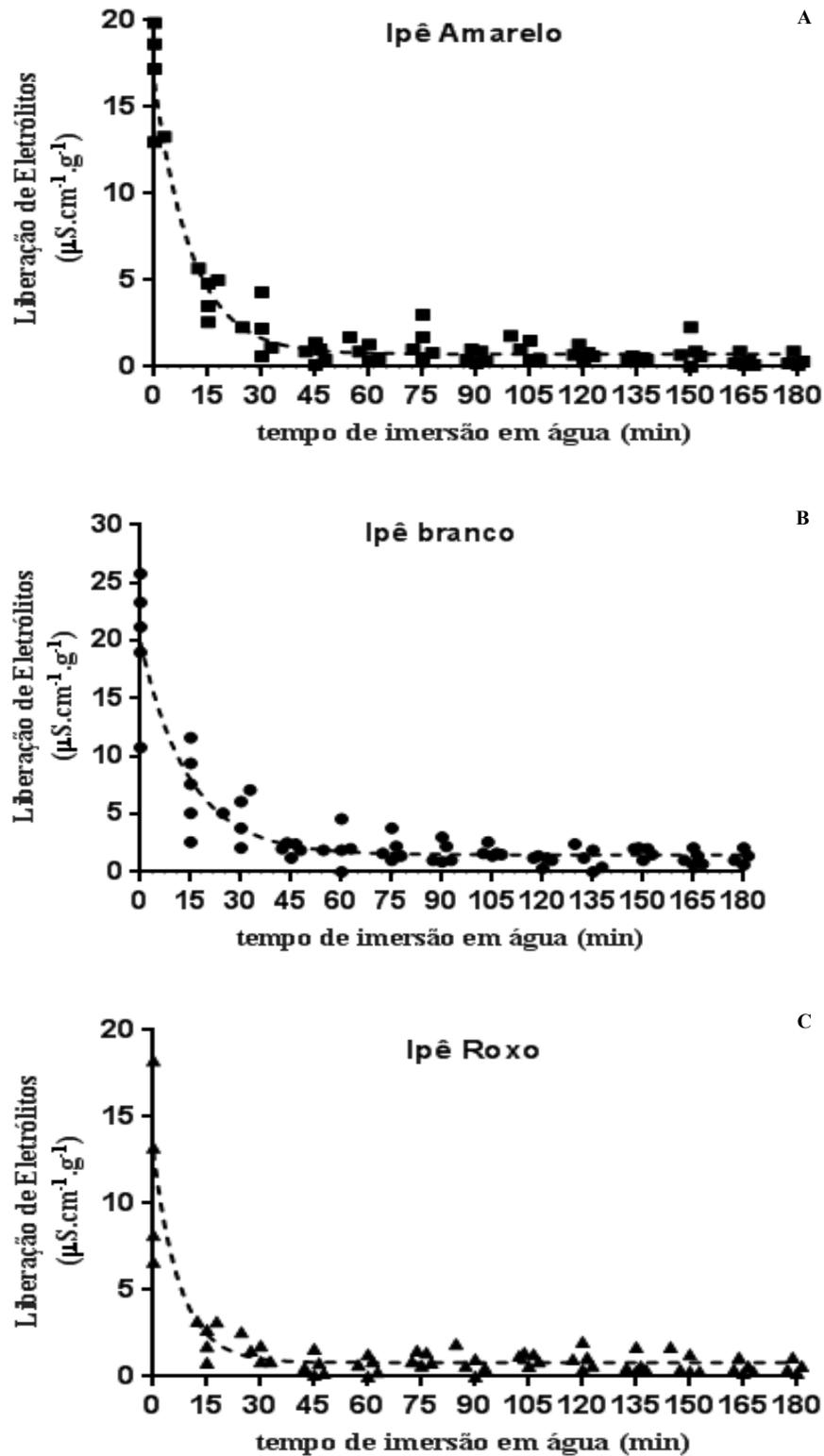


Figura 4. Liberação de eletrólitos após diferentes tempos de lavagem de discos foliares em *Handroanthus* – *H. chrysotrichus* (ipê amarelo); *H. roseoalbus* (ipê branco) *H. impetiginosus* (ipê roxo). Símbolos representam valores médios obtidos com 5 repetições.

3.4.2 Determinação do extravasamento de eletrólitos decorrentes do estresse hídrico induzido

Após 15 min de lavagem e 15 h de imersão nas soluções de PEG, os discos foram lavados somente para retirada do excesso de PEG e transferidos para tubos Falcon contendo 20 mL de água desionizada para a reidratação, em seguida mediu-se a condutividade elétrica imediatamente à imersão dos discos (CE_i), e após tempos de reidratação (CE_f) determinados em 0,5h; 1,5h; 3,5h; 7,5h e 22,5. Para medida do extravasamento total dos eletrólitos nas amostras, as mesmas foram autoclavadas a 121°C por 20 min e, ao reestabelecerem a temperatura ambiente foi medida a condutividade elétrica total (CE_t). O percentual de liberação de eletrólitos (LE) ocasionado pelo déficit hídrico foi determinado segundo a Equação 3.

Equação 3:

$$LE = \frac{CE_f - CE_i}{CE_t - CE_i} \times 100$$

3.4.3 Cálculo do índice de dano de membranas

O índice de dano de membrana (IDM) ocasionado pelo déficit hídrico foi determinado conforme preparação dos discos foliares descrito anteriormente no item 3.4 conforme (Bajji *et al.*, 2002). O cálculo foi feito partir da Equação 4, onde CE_i é a CE medida logo no início da reidratação; CE_f é a CE medida no intervalo de tempo de reidratação igual a 22,5 h, [definido anteriormente (item 3.4.2 – LE)]¹; [definido a partir dos resultados obtidos no experimento de liberação de eletrólitos (item 4.2)]² sendo este o intervalo de tempo onde a LE começa a estabilizar e CE_t é a CE medida após autoclavagem dos discos.

Equação 4:

$$IDM = \frac{(R_s - R_c)}{1 - (R_c)} \times 100$$

Em que: $R_s = (CE_f - CE_i) - (CE_t - CE_i)$ das amostras estressadas;

$R_c = (CE_f - CE_i) - (CE_t - CE_i)$ das amostras controle.

3.5 Análises anatômicas dos caules secundários

As amostras foram coletadas ao final do experimento de trocas gasosas (item 3.3), após reidratação completa das plantas e medidas a altura total de cada indivíduo e a circunferência da base dos caules na região onde foram cortados (5 cm de altura do solo). As amostras com 3cm de comprimento dos indivíduos submetidos ao estresse hídrico e do controle foram fixadas em FAA (Johansen, 1940) e posteriormente armazenados em etanol 70%. Lâminas histológicas semipermanentes foram confeccionadas a partir de cortes transversais com 20µm de espessura em micrótomo de deslize Spencer para amostras de madeira. As secções foram clarificadas em solução de hipoclorito de sódio 50%, lavadas em água destilada e coradas em safranina 0,5%, segundo metodologia de rotina para anatomia vegetal (Kraus e Arduin, 1997). As características celulares e teciduais do xilema secundário foram analisadas conforme IAWA (1989). A comparação entre as três espécies foi feita através da observação direta das lâminas histológicas semipermanentes em microscópio de luz e imagens digitalizadas em fotomicroscópio Zeiss Primo Star com câmera fotográfica Canon A650 (03330), a citometria foi realizada com programa AxionVision®. Todos os procedimentos foram executados no Laboratório de Anatomia Vegetal do Departamento de Botânica do Instituto de Ciências Biológicas da UFMG.

3.6 Análises estatísticas

O tratamento estatístico foi feito no programa Assistat Software Version 7.7® para avaliar os níveis de significância dos dados quantitativos e paramétricos com base na ANOVA seguida por teste de Tukey 1%. Os gráficos foram elaborados no GraphPad® e planilhas foram feitas no Excel®.

4 Resultados e discussão

4.1 Avaliação das trocas gasosas

As avaliações da fotossíntese pelas trocas gasosas revelaram valores maiores para o *Handroanthus chrysotrichus* em relação aos demais para todas as variáveis mensuradas, sendo que, para todas as espécies houve queda dos parâmetros avaliados em consequência do aumento de déficit hídrico. Estando o solo com 100% da disponibilidade hídrica, as três espécies não diferiram significativamente entre si em relação aos parâmetros avaliados. Com 75% de água no solo, não houve diferença significativa em relação a A entre as espécies, entretanto, *Handroanthus roseoalbus* apresentou média estatisticamente inferior às demais espécies em relação a g_s , C_i e E , porém, quanto a transpiração (E) *Handroanthus impetiginosus* se mostrou com taxas intermediárias entre as outras duas espécies. Com 50% de água no solo as três espécies se mantêm com valores semelhantes entre si para A , g_s e C_i , sendo que *H. roseoalbus* manteve valores intermediários quanto a transpiração e *H. impetiginosus* apresentou valores estatisticamente inferiores em relação ao parâmetro E . A partir de 25% de água no solo houve distinção dos parâmetros entre as espécies, em que, *H. chrysotrichus* apresentou valores superiores as demais, que por sua vez, apresentaram decréscimo semelhante entre si e inferior a *H. chrysotrichus*. Foi possível identificar na Figura 5 que o *H. chrysotrichus* em condições severas de falta de água no solo (25% da capacidade máxima), mantém a assimilação do CO_2 (A) mesmo com a drástica redução da condutância estomática (g_s) (Figura 6) e consequentemente da transpiração foliar (E) (Figura 7), mantendo ainda que com valores reduzidos, a assimilação de CO_2 . Em condições severas de déficit hídrico (25%), os *Handroanthus roseoalbus* e *Handroanthus impetiginosus* apresentaram valores estatisticamente semelhantes entre si e inferiores ao *H. chrysotrichus* ($P \leq 0,01$). As setas nas Figuras 5, 6 e 7 indicam a atividade fotossintética no *H. chrysotrichus* mesmo com solo praticamente seco (0%), isto é, manutenção de A e E apesar dos estômatos estarem bastante fechados ($g_s \leq 0$), enquanto nos *H. roseoalbus* e *H. impetiginosus* foram observados valores mínimos e próximos a zero. Verificou-se discreto aumento da A em todas as espécies na condição de 75% de água no solo, sendo que, somente *H. chrysotrichus* apresentou diferença significativa entre médias das condições 100 e 75%, o que indica a eficiência dos mecanismos de adaptação dessa espécie às condições de menor disponibilidade hídrica. O fato das três espécies elevarem suas taxas de A pode ser devido ao estabelecimento de proporção adequada de água e ar no solo, sendo esta uma condição que pode ser a ideal para o cultivo das espécies estudadas.

Os maiores valores para os parâmetros das trocas gasosas verificados neste trabalho para o *H. chrysotrichus* corrobora o proposto por Esposti (2013), que verificou valores de assimilação do CO₂ para *H. chrysotrichus* duas vezes maior do que os valores obtidos para a espécie secundária tardia *Cariniana estrellensis* (jequitibá branco), assim como, maiores valores de condutância estomática e transpiração. Dessa forma, é evidenciada a maior tolerância do *H. chrysotrichus* ao déficit hídrico através da manutenção da fotossíntese em condições severas de falta de água no solo. Apesar de haver indicação do *H. impetiginosus* como tolerante ao déficit hídrico por Dombroski et al. (2014), nesse estudo a espécie não se mostrou tão tolerante quanto o *H. chrysotrichus*, e ainda, pouco mais sensível do que o *H. roseoalbus*. Campelo et al. (2015) verificaram a melhor adaptação do *H. impetiginosus* ao déficit hídrico em condições naturais de campo, como também em outras espécies de Cerrado. A menor tolerância dessa espécie pode estar relacionada às condições de cultivo em casa de vegetação para a simulação do ambiente urbano com radiação solar direta e intensa, maior temperatura média, limitação de crescimento do sistema radicular pelo recipiente plástico, além do déficit hídrico induzido, demonstrando que esta espécie pode apresentar redução da sua eficiência fotossintética em áreas urbanas, já que, as cidades podem apresentar condições ambientais semelhantes a casa de vegetação desse estudo. Para o *H. roseoalbus*, sua sensibilidade ao déficit hídrico é complementada pela baixa taxa de germinação e rápida perda de viabilidade das sementes (Stockman et al., 2007), que contribui para menor produção de mudas e baixa ocorrência de indivíduos dessa espécie na área urbana, apesar de sua alta capacidade de rebrota vegetativa observada em campo.

Os valores encontrados para concentração de carbono interno (C_i , Figura 8) indicam que a 25% de água no solo, *H. chrysotrichus* e *H. roseoalbus* não apresentam diferenças significativas ($P \leq 0,01$) e o *H. impetiginosus* apresenta decréscimo de C_i , porém as três espécies mantêm valores próximos a 200 e 300 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ que são valores normalmente encontrados para espécies arbóreas. Entretanto, em ausência total da água no solo (0%) o *H. chrysotrichus* permaneceu com índices satisfatórios de C_i , enquanto *H. roseoalbus* e *H. impetiginosus* foi observada significativa redução nestes valores e próximos a zero. Esse parâmetro indica que o CO₂ está sendo absorvido de fonte externa, quando seu valor decresce ocorre consumo de carbono da própria planta devido ao funcionamento fotossintético pela via C₂, sendo que, a associação de baixa condutância estomática e altos valores de C_i indicam redução da eficiência de carboxilação. Calbo e Moraes, (1997) encontraram índices de C_i em palmeiras *Mauritia vinífera* (buriti) semelhantes aos encontrados para os ipês desse estudo,

evidenciando as adaptações de espécies arbóreas de Cerrado aos déficits hídricos que possam estar submetidos sazonalmente em seu ambiente de ocorrência. Assim como o buriti, os ipês recuperaram valores similares ao controle quando foram reidratados, demonstrando plasticidade dos parâmetros avaliados relativos as trocas gasosas.

Dombroski **et al.** (2014), ao avaliarem os mecanismos fisiológicos em resposta ao estresse hídrico e a reidratação em *Handroanthus impetiginosus*, verificaram que outros fatores relativos ao estresse hídrico incluem a redução da absorção de nutrientes minerais, refletindo no comprometimento da célula e no crescimento das plantas, além disso, perceberam que existem poucos estudos que avaliam as respostas fisiológicas de plantas da Caatinga à condução hidráulica e também poucos estudos sobre a capacidade de recuperação da fotossíntese após um déficit hídrico. Assim como Oliveira **et al.** (2002) observando as trocas gasosas em relação ao déficit hídrico em pupunheira (*Bactris gasipaes*) relatou a capacidade de reidratação após o estresse, as três espécies desse estudo foram reidratadas ao final do período experimental e foi observado a recuperação dos parâmetros fotossintéticos analisados em 3 dias, com valores equivalentes aos observados nas plantas controle, indicativo dessa forma, de uma eficiente capacidade de recuperação do estresse por seca.

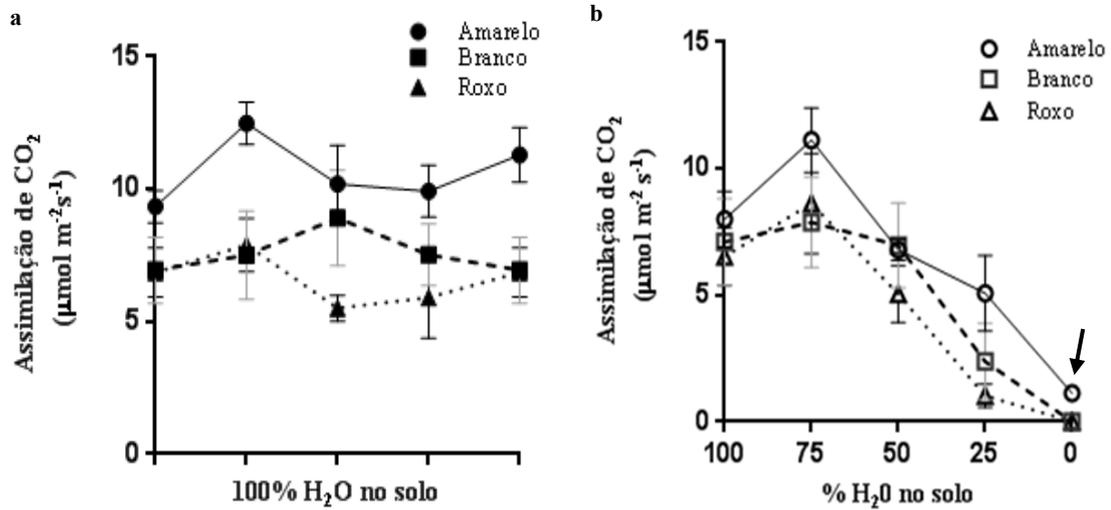


Figura 5. Assimilação de CO₂ em três espécies de *Handroanthus* nas condições de solo saturado (a) e com decrescente disponibilidade de água no solo (b)

H. chrysotrichus (ipê amarelo); *H. roseoalbus* (ipê branco) *H. impetiginosus* (ipê roxo).

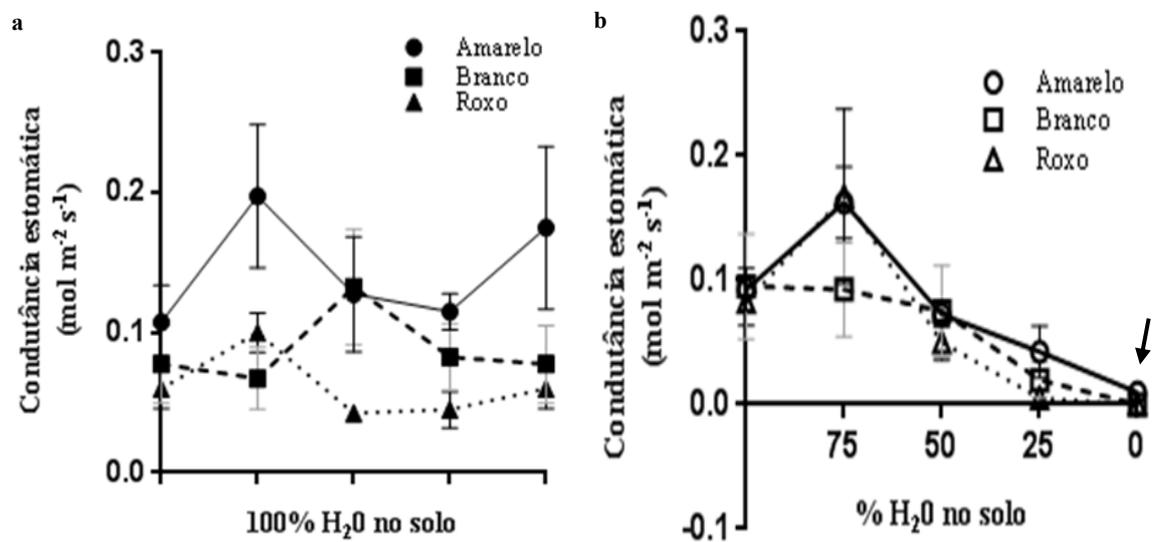


Figura 6. Condutância estomática em três espécies de *Handroanthus* nas condições de solo saturado (a) e com decrescente disponibilidade de água no solo (b)

H. chrysotrichus (ipê amarelo); *H. roseoalbus* (ipê branco) *H. impetiginosus* (ipê roxo).

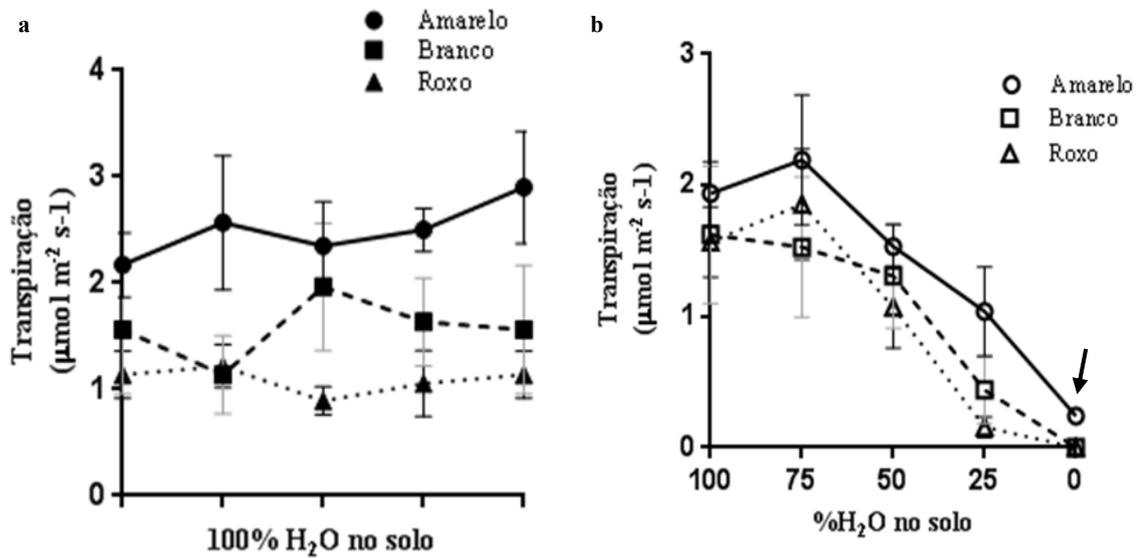


Figura 7. Transpiração em três espécies de *Handroanthus* nas condições de solo saturado (a) e com decrescente disponibilidade de água no solo (b)

H. chrysotrichus (ipê amarelo); *H. roseoalbus* (ipê branco) *H. impetiginosus* (ipê roxo).

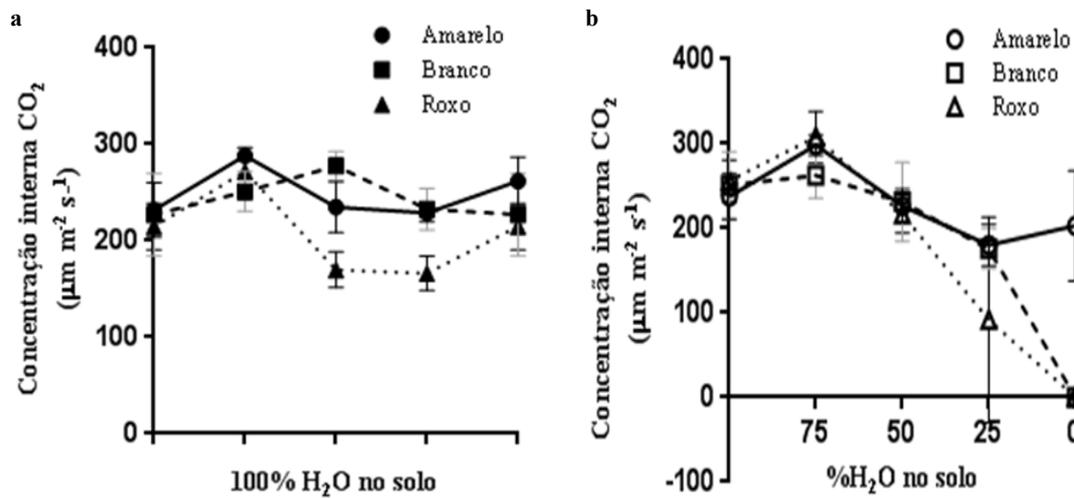


Figura 8. Concentração interna de CO_2 em três espécies de *Handroanthus* nas condições de solo saturado (a) e com decrescente disponibilidade de água no solo (b)

H. chrysotrichus (ipê amarelo); *H. roseoalbus* (ipê branco) *H. impetiginosus* (ipê roxo).

Tabela 1- Médias referentes as trocas gasosas em *Handroanthus* de acordo com o decréscimo de água no solo. *H. chrysotrichus* (ipê amarelo); *H. roseoalbus* (ipê branco) *H. impetiginosus* (ipê roxo).

	%H ₂ O no solo	<i>H. chrysotrichus</i>	<i>H. roseoalbus</i>	<i>H. impetiginosus</i>
<i>A</i> (μmol m ⁻² s ⁻¹)	100	8,4 aB	7,6 aA	7,9 aA
	75	12,2 aA	8,9 aA	10,2 aA
	50	7,6 a	7,4 a	5,6 a
	25	5,8 a	2,2 b	0,99 b
	0	1,9 a	0,0 b	0,0 b
<i>g_s</i> (mol m ⁻² s ⁻¹)	100	0,10 a	0,09 a	0,08 a
	75	0,21 a	0,10 b	0,20 a
	50	0,09 a	0,08 a	0,05 a
	25	0,05a	0,02 b	0,01 b
	0	0,02 a	0,00 b	0,00 b
<i>Ci</i> (μm m ⁻² s ⁻¹)	100	237,86 a	242,26 a	238,53 a
	75	308,00 a	263,55 b	307,97 a
	50	233,87 a	232,40 a	200,64 a
	25	188,38 a	183,67 a	91,83 a
	0	199,21 a	0,00 b	0,00 b
<i>E</i> (μmol m ⁻² s ⁻¹)	100	2.07 a	1.62 a	1.55 a
	75	2,51 a	1,58 b	2.03 ab
	50	1,79 a	1,33 ab	1,07 b
	25	1,26 a	0,39 b	0,14 b
	0	0,38 a	0,00 b	0,00 b

Médias seguidas por mesma letra minúscula nas linhas referem-se à comparação entre as espécies e não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância ($P \leq 0,05$).

Médias seguidas por mesma letra maiúscula nas colunas referem-se à comparação numa mesma espécie de valores obtidos com 100 e 75% de água no solo e não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância ($P \leq 0,05$).

Para fins de complementação das análises, foi verificado o comportamento dos *Handroanthus* em relação ao aumento da concentração de CO₂ quando esse gás é fornecido em condições controladas com o IRGA, de forma a obter possíveis inferências acerca da resposta das espécies desse estudo às mudanças climáticas globais previstas para o planeta. Portanto, observou-se que com o aumento da concentração de CO₂ atmosférico até valores aproximados em 400 $\mu\text{mol L}^{-1}$, que são encontrados na atmosfera atual, as três espécies apresentam níveis semelhantes de trocas gasosas (Figura 9). Entretanto, foi observado que o *H. roseoalbus* apresenta queda na assimilação do carbono em maiores concentrações do CO₂ atmosférico, o que pode ser indicativo de maior sensibilidade às mudanças climáticas globais, podendo esta espécie sofrer desequilíbrio populacional.

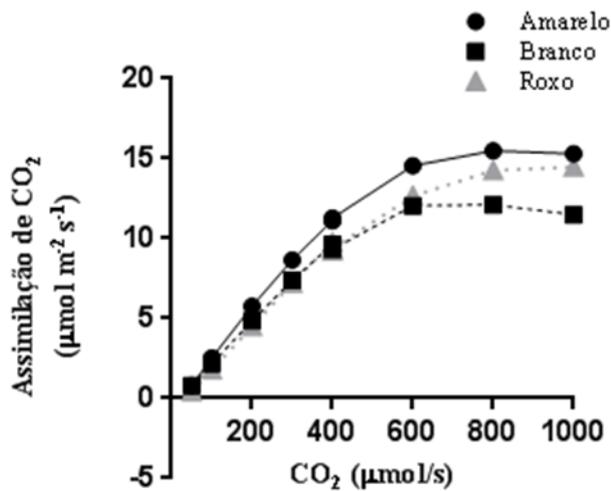


Figura 9. Assimilação do CO₂ em três espécies de *Handroanthus* em concentrações crescentes de CO₂ e intensidade fixa de luz, 1000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$

H. chrysotrichus (ipê amarelo); *H. roseoalbus* (ipê branco) *H. impetiginosus* (ipê roxo).



Figura 10- *Handroanthus chrysotrichus* (ipê amarelo) e *Handroanthus impetiginosus* (ipê roxo) ao final do experimento de trocas gasosas com 25% de umidade do solo. (a, b) – folhas permanecem erguidas no ipê amarelo estressado (c, d) – folhas permanecem erguidas no ipê roxo estressado. Seta vermelha indica a planta estressada; seta preta indica planta irrigada.



Figura 11- *Handroanthus roseoalbus* (ipê branco) ao final do experimento de trocas gasosas (25% de umidade do solo). (a) – seta vermelha indica a planta estressada; seta preta indica planta irrigada (b) – folhas prostradas da planta estressada (c) – folhas eretas na planta irrigada.

4.2 Tolerância protoplasmática avaliada *ex vivo* em diferentes valores de potencial hídrico induzido por PEG

A tolerância protoplasmática avaliada *ex vivo* demonstrou a tolerância das espécies de ipês aos baixos potenciais hídricos aos quais foram submetidos os discos foliares, possibilitando a prospecção dessa resposta ao real comportamento das espécies em ambiente natural. Para *H. roseoalbus* e *H. impetiginosus* (Figura 12) nos valores de potenciais -1,0MPa e -2,0MPa, a liberação de eletrólitos foi pouco maior aos valores encontrados para os discos controle, sendo as diferenças entre esses potenciais e, entre eles e o controle não significativas ($P \leq 0,01$). Entretanto, a partir de -3,0MPa observou-se que a liberação de eletrólitos foi próxima ao dobro dos valores obtidos em -2,0MPa e estatisticamente igual à LE em -4,0MPa. Dessa forma, é possível considerar estas espécies como tolerantes aos reduzidos valores de potencial induzido por PEG. Os resultados encontrados para o *H. roseoalbus* podem se relacionar aos aspectos estruturais das suas folhas, as quais foram investigadas por Abbade *et al.* (2009) e atribuíram a elas textura coriácea, limbo hipoestomático e ornamentado com tricomas estrelares afirmando que tais atributos foliares cooperam para uma tolerância moderada às condições de restrição hídrica do solo. Semelhantemente, no caso do *H. impetiginosus*, a tolerância de suas folhas aos baixos potenciais a partir de -3,0 MPa podem da mesma forma se relacionar as suas folhas com maiores dimensões, ao caule denso em fibras e ao maior porte da árvore adulta, permitindo maior tolerância aos efeitos do déficit hídrico. Calbo e Moraes (1997) avaliaram a palmeira de Cerrado *Mauritia vinifera* Mart. (buriti), e encontraram valores de potencial hídrico foliar em cerca de -2,0 MPa onde a fotossíntese apresentou-se nula, atribuindo esse fato ao provável ajustamento osmótico foliar nesta espécie. É provável que os *Handroanthus* também apresentem mecanismos de ajustamento osmótico foliar. Esses autores também discutem a tolerância aos reduzidos valores de potencial osmótico por outras espécies de Cerrado, como *Copaifera langsdorffii*. Em contrapartida, observou-se que o *H. chrysotrichus* (Figura 12) apresentou maiores valores de LE do que os demais ipês, demonstrando a maior fragilidade das folhas dessa espécie, assim contrariando ao que foi observado na avaliação das trocas gasosas, o qual demonstrou a superioridade fotossintética em relação ao demais ipês. Essa resposta para o *H. chrysotrichus* pode indicar a sua adaptação na resposta ao déficit hídrico através de um caule mais adaptado a falta de água, de forma que, ao evitar que o potencial hídrico foliar seja afetado mantenha suas folhas ativas por mais tempo, garantindo a recuperação fotossintética após longo período de estiagem e, por isso é plausível considerar que suas folhas se mantenham ativas por mais tempo, garantindo a recuperação fotossintética após o longo período de seca e,

por isso suas folhas sejam menos tolerantes aos baixos potenciais osmóticos do que as folhas dos ipês branco e roxo. Larcher (2000) propõe que mesófitas herbáceas atinjam fotossíntese nula com potenciais hídricos entre -1,5 MPa e -2,5 MPa e, árvores da floresta tropical com potenciais entre -1,5 e -4,0 MPa.

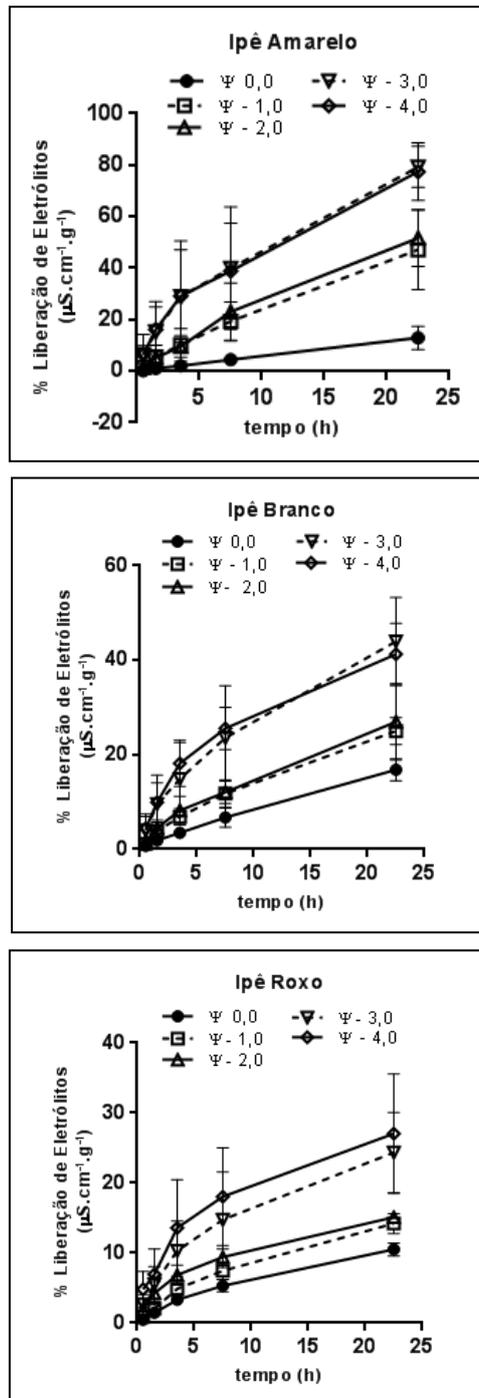


Figura 12- Liberação de eletrólitos resultante dos tratamentos experimentais com imposição de baixos potenciais osmóticos.

H. chrysotrichus (ipê amarelo); *H. roseoalbus* (ipê branco) *H. impetiginosus* (ipê roxo).

4.2.1 Índice de dano de membrana

O índice de dano de membrana aumentou nas três espécies conforme aumento dos potenciais hídricos a que foram submetidos, isto é, o $\Psi_w = -1,0\text{MPa}$ e $-2,0\text{MPa}$ não diferiram estatisticamente entre si ($P \leq 0.01$) e foram inferiores aos danos de membrana resultantes dos potenciais $\Psi_w = -3,0\text{MPa}$ e $-4,0\text{MPa}$, que por sua vez também não diferiram estatisticamente entre si. Dessa forma, observou-se a maior tolerância dos ipês avaliados neste trabalho a potenciais até $-2,0\text{MPa}$ ocorrendo dano de membrana menor do que 50%. Ainda vale ressaltar que *H. roseoalbus* e *H. impetiginosus* mesmo nos potenciais $-3,0\text{MPa}$ e $-4,0\text{MPa}$ ainda apresentaram índices de dano de membrana bastante inferiores a 50% (Tabela 2). A figura 13 apresenta a relação dos valores de IDM entre os potenciais para cada espécie, demonstrando a semelhança encontrada entre o controle e os potenciais $-1,0\text{MPa}$ e $-2,0\text{MPa}$, e ainda, semelhança entre os potenciais $-3,0\text{MPa}$ e $-4,0\text{MPa}$. Dessa forma, verifica-se que os *Handroanthus* são tolerantes a potenciais até $-2,0\text{MPa}$ e são sensíveis a partir de potenciais $-3,0\text{MPa}$.

Tabela 2- Índice de dano de membrana em *Handroanthus* com 22,5h de duração do experimento. Médias maiores seguidas por letra a indicam maior dano de membrana.

Espécie	Ψ_w (Mpa)	Médias
<i>H. crysotrichus</i> (ipê amarelo)	-1	38,8 b
	-2	44,4 b
	-3	76,3 a
	-4	74,2 a
<i>H. roseoalbus</i> (ipê branco)	-1	9,8 b
	-2	12,2 b
	-3	32,5 a
	-4	29,3 a
<i>H. impetiginosus</i> (ipê roxo)	-1	3,9 b
	-2	5,0 b
	-3	14,1 a
	-4	16,9 a

Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância ($P \leq 0,05$).

Foi determinado o tempo de 22,5h para os cálculos do índice de dano de membrana nas três espécies, pois, houveram diferenças significativas entre os valores de liberação de eletrólitos entre os tempos 3,5; 7,5 e 22,5h, dessa forma não estabilizando a LE. Isso pode ser devido à alta tolerância das espécies ao déficit hídrico no nível celular, ou ainda, devido aos discos ficarem imersos em água por muito tempo causando rompimento da membrana celular. A tabela 3 apresenta as médias obtidas nos tempos de imersão do discos nos potenciais -2,0MPa e -4,0MPa porque esses são representativos dos demais potenciais osmóticos avaliados.

Tabela 3 – Médias da liberação de eletrólitos (%) em *Handroanthus* nos tempos de reidratação após imersão em solução PEG 6000 com baixos potenciais osmóticos.

Espécie	Ψ_w (MPa)									
	- 2,0					- 4,0				
	0,5h	1,5h	3,5h	7,5h	22,5h	0,5h	1,5h	3,5h	7,5h	22,5h
<i>H. crysotrichus</i> (ipê amarelo)	1,39 c	5,16 c	9,59 c	23,01 b	51,61 a	6,41 d	16,17 cd	29,11 bc	38,87 b	77,43 a
<i>H. roseoalbus</i> (ipê branco)	1,64 d	4,51 cd	8,24 bc	12,07 b	26,96 a	4,44 d	9,91 d	18,19 c	25,58 b	41,25 a
<i>H. impetiginosus</i> (ipê roxo)	1,96 e	4,16 d	6,85 c	9,39 b	14,92 a	4,58 c	6,65 c	12,78 bc	17,14 ab	25,59 a

Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância ($P \leq 0,05$).

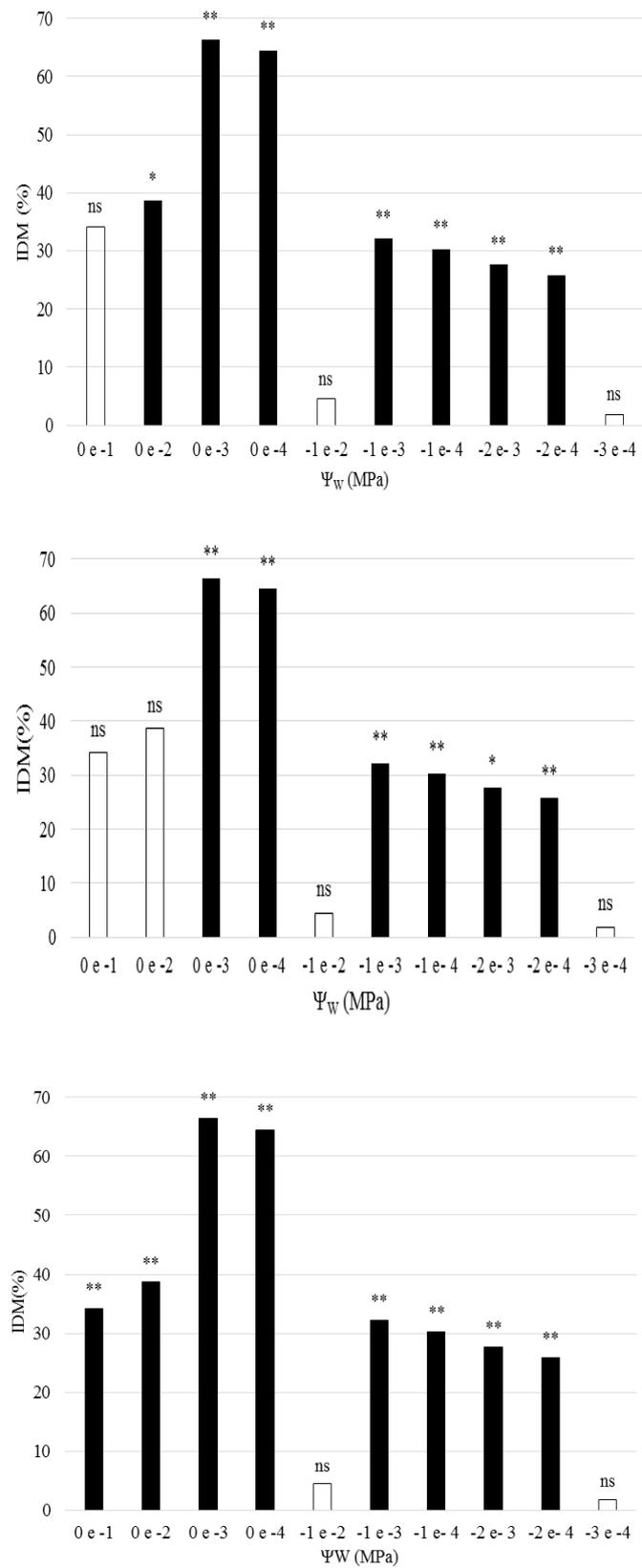


Figura 13 – Diferença entre médias obtidas em relação ao IDM em cada potencial osmótico experimentado no tempo 22,5h.

H. chrysotrichus (ipê amarelo); *H. roseoalbus* (ipê branco) *H. impetiginosus* (ipê roxo).

Na Tabela 4, foram comparadas as espécies quanto ao dano de membranas nos potenciais $\Psi_w = -2,0$ e $-4,0$ MPa, pois esses foram estatisticamente iguais aos outros potenciais avaliados, respectivamente $\Psi_w = -1,0$ e $-3,0$ MPa. Dessa forma, foi observado maior dano de membrana para o *H. chrysotrichus*, em conformidade a superioridade dos índices nos dois potenciais analisados, sendo no $\Psi_w = -2,0$ MPa valores próximos a 50% (44,4%) e no $\Psi_w = -4,0$ MPa danos superiores a 50% (74,2%). Esse resultado pode ser indicativo do modo de tolerância à seca do *H. chrysotrichus*, adiando a desidratação da planta, ou seja, tolerar a seca com alto potencial hídrico, de forma que, as membranas celulares se tornam mais sensíveis a diminuição de potencial osmótico. Segundo Turner (1997), existem três categorias principais de tolerância das plantas à seca: primeiro as espécies que escapam do estresse hídrico através do desenvolvimento fenológico acelerado; segundo as espécies que toleram o estresse com alto potencial hídrico de forma adiar a desidratação e; terceiro as espécies que toleram a desidratação com baixo potencial hídrico. Scalon **et al.** (2011) analisando *Guazuma ulmifolia* e Chaves Filho e Stacciarini-Seraphin (2001) analisando *Solanum lycocarpum*, sendo ambas as espécies ocorrentes em ambientes pouco chuvosos, compartilham da classificação de Turner (1996) acerca dos mecanismos vegetais de tolerância à seca. Os valores obtidos para o dano de membrana para *H. roseoalbus* e *H. impetiginosus* foram semelhantes e inferiores a 50% e também ao índice de dano membranas para o *H. chrysotrichus*. Portanto, observou-se a maior tolerância das folhas de *H. roseoalbus* e de *H. impetiginosus* aos menores potenciais osmóticos induzidos, sendo provável que os ipês branco e roxo atuem tolerando a seca com baixo potencial hídrico, isto é, possuem mecanismos de ajustamento osmótico mais eficiente do que o *H. chrysotrichus*. Esses resultados também podem ser associados pelas características morfológicas dos ipês branco e roxo, como folhas coriáceas e maiores, o maior porte de *H. impetiginosus* e a alta capacidade de rebrota de *H. roseoalbus*. Faria **et al.**, (2013) obtiveram IDM maior que 50% para *Ricinus communis* em potencial osmótico $-2,4$ Mpa. Larcher (1995) aponta para espécies cultivadas suporte de potencial osmótico de até $-2,1$ MPa, plantas esclerófitas e plantas do deserto podem atingir $-5,0$ MPa.

Tabela 4 - Índice de dano de membrana dos *Handroanthus* relativos aos potenciais osmóticos de maior relevância.

Médias maiores seguidas por letra a indicam maior dano de membrana.

Ψ_w (Mpa)	Valor de F	Espécies	Médias
-2	44,8 **	<i>H. chrysotrichus</i>	44,4 a
		<i>H. roseoalbus</i>	12,3 b
		<i>H. impetiginosus</i>	5,0 b
-4	62,3 **	<i>H. chrysotrichus</i>	74,2 a
		<i>H. roseoalbus</i>	29,3 b
		<i>H. impetiginosus</i>	16,9 b

Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância ($P \leq 0,05$).

4.3 Análises anatômicas

O tratamento de estresse hídrico imposto as espécies para avaliar seu padrão de respostas mostraram algumas diferenças no lenho entre indivíduos da mesma espécie e entre as espécies, demonstrando que os ipês estudados são plásticos em relação a disponibilidade de água e podem ter lenho modificado em algumas características relacionadas a dinâmica hídrica do ambiente em que podem estar inseridos. Esse fato pode influenciar a qualidade da madeira desses ipês, por exemplo, tornando-os mais susceptíveis a queda motivada por chuvas e ventos, além de afetar sua capacidade de se manter em determinados ambientes onde ocorre disponibilidade hídrica variável. Volland-Voigt **et al.** (2010), ao estudarem a resposta de *Tabebuia chrysantha* em estações chuvosas e secas em diferentes locais de ocorrência, demonstraram a plasticidade anatômica do lenho dessa espécie já que a mesma foi responsiva as variáveis ambientais analisadas. A mesma plasticidade em função da disponibilidade hídrica observada pelo autor em *Tabebuia* sp., pode ser verificada em *Handroanthus* sp. considerando a semelhança morfológica entre esses gêneros, sendo suas espécies muitas vezes confundidas.

As características anatômicas analisadas foram confrontadas dentro de cada espécie considerando os tratamentos realizados no experimento de trocas gasosas em função da umidade do solo apresentado no item 3.3 do presente estudo. Dessa forma, foram comparados *H. chrysotrichus* submetidos ou não ao estresse hídrico, onde percebemos que essa espécie mantida no sistema irrigado foram formados três anéis marcadores caracterizados por um parênquima axial paratraqueal em faixa contendo os elementos de vaso alinhados tangencialmente, com dimensões de $42.18\mu\text{m} \pm 5.6$ (Fig.14 a). Para os *H. chrysotrichus* mantidos sob o regime de estresse hídrico destaca-se a maior uniformidade na distribuição das células do xilema secundário, sem um indício claro da formação de anéis marcadores (Fig.14 b). Outro aspecto notório é a diferença na organização do primeiro ciclo de formação do lenho

com maior quantidade de parênquima axial e predominância de elementos de vaso organizados radialmente nas plantas irrigadas (Fig. 14 a, c), organização não percebida nas plantas estressadas (Fig. 14 b, d), que se mantiveram muito mais homogêneas durante todo tempo acompanhado, inclusive não diferenciando a espessura das fibras, $5,6\mu\text{m} \pm 0,87$; e apresentando larga área das fibras ($219,13\mu\text{m} \pm 69,84$), o que representa o espaço ocupado pelas fibras no tecido xilema (Fig. 14 c, d). A fusão dos anéis marcadores independentes do regime hídrico imposto foi marcante no *H. chrysotrichus*, provavelmente em consequência da excentricidade desenvolvida na formação do lenho (Fig. 14 e). Muñiz e Marchiori (2009) ao descreverem as Bignoniáceas *Jacaranda micranta* e *Handroanthus albus*, sendo a segunda também um ipê amarelo como o desse estudo, destacaram em *H. albus* fibras espessas contrastantes com o parênquima axial confluyente e estratificado, raios homogêneos com predominância de células procumbentes e cristais contidos nas células parenquimáticas, tal descrição se assemelha ao observado para *H. chrysotrichus*, e confirma a presença de caracteres anatômicos no caule que promovem resistência ao déficit hídrico em ipês amarelo. O fato das plantas das três espécies serem ainda jovens, cerca de três anos, pode comprometer uma análise mais profunda, no entanto, é perceptível uma diferença na proporção das células do xilema secundário primeiramente formado junto à região medular, chamado lenho juvenil (Fig. 15 a, b) em relação às camadas formadas recentemente mais próximas à casca, chamado lenho maduro (Fig. 15 c, d). Observa-se uma maior quantidade de parênquima axial, organização dos elementos de vaso tendendo a uma organização radial.

H. impetiginosus apresenta anéis marcadores que podem representar os momentos de alterações do regime hídrico imposto durante os tratamentos ou refletir condições macroclimáticas do ambiente, sendo que os anéis foram bem marcados por agrupamento dos elementos de vaso e do parênquima axial formando faixa contínua (Fig. 16 a, b). Esta espécie quando submetida ao estresse hídrico, apresentou fibras ocupando maior área no xilema ($200,86\mu\text{m} \pm 51,03$) e mais espessas ($5,5\mu\text{m} \pm 0,95$) (Fig. 16 d) em relação as plantas irrigadas constantemente (Área= $151,65\mu\text{m} \pm 36,16$; Espessura= $4,52\mu\text{m} \pm 0,67$) (Fig. 16 c), ($P \leq 0.01$), entretanto não houve diferença significativa entre as fibras dos lenhos juvenil e maduro. Percebe-se aumento do parênquima axial especialmente no lenho maduro (Fig. 17 c, d), o qual também apresentou elementos de vaso com maior calibre ($50,86 \mu\text{m} \pm 6,06$) em relação aos elementos de vaso formados no lenho juvenil ($39,10 \mu\text{m} \pm 4,99$) (Fig. 17 a, b). Aparentemente a diferença entre o lenho da região mais central e o mais periférico (Fig. 17) pode ser devido aos diferentes locais em que a planta se desenvolveu, no primeiro ano no canteiro de mudas da

prefeitura, que forneceu as plantas para o experimento, e nos dois últimos na casa de vegetação do Departamento de Botânica da UFMG. Uma observação mais detalhada permite verificar que no primeiro ciclo de formação do lenho há um predomínio de parênquima axial paratraqueal aliforme confluyente e em faixas enquanto no lenho dos dois últimos anos predomina o parênquima axial em faixas muito mais largas e o parênquima aliforme confluyente é raro. Essa tendência é mais acentuada nas plantas que foram submetidas ao déficit hídrico (Fig. 17 b, d) Amado et al. (2015) diferenciaram *Handroanthus impetiginosus* e *Handroanthus avellanadae* por meio da anatomia do lenho, sendo destacado para *H. impetiginosus*, espécie do presente estudo, o parênquima axial disposto em faixas no arranjo confluyente vasicêntrico e em alguns momentos aliforme, parênquima radial unisseriado e homogêneo, fibras de paredes espessas e lume reduzido e tendência de numerosos elementos de vaso estreitos. Tais atributos conferem adaptação da planta à condição de seca.

Handroanthus roseoalbus apresentou um lenho heterogêneo (Fig. 18 a, b) tanto nas plantas mantidas irrigadas quanto nas submetidas ao estresse hídrico, seus anéis marcadores ficaram bastante nítidos devido a diferença do espessamento das fibras (lenho juvenil $4,30 \mu\text{m} \pm 1,23$; lenho maduro $3,71 \mu\text{m} \pm 0,78$), mudança no padrão da densidade dos elementos de vaso e no calibre deles, sendo que, no lenho juvenil os elementos de vaso diferiram significativamente entre plantas irrigadas ($37,7 \mu\text{m} \pm 5,55$) e plantas estressadas ($43,0 \mu\text{m} \pm 5,67$); porém, independente dos tratamentos de déficit hídrico, não houve diferença entre lenho juvenil ($40,39 \mu\text{m} \pm 6,20$) (Fig. 18 a, b) e lenho maduro ($50,94 \mu\text{m} \pm 7,13$) (Fig. 18 c, d). Além disso, houve diferente organização do parênquima axial, sendo que, a área de ocupação das fibras foi maior no lenho maduro, ou seja, as fibras têm menor lume e, a espessura delas e o calibre dos elementos de vaso foram maiores no lenho juvenil ($P \leq 0.01$) (Fig. 19). Aparentemente o câmbio dessa espécie se mostra mais responsivo as variáveis de múltiplas formas com relação a distribuição e organização das células formadoras do xilema secundário, tornando muito difícil relacionar qualquer aspecto da organização a uma ou outra variável dentro do desenho experimental aqui desenvolvido.

A proximidade genética e o pertencimento a mesma família refletem na semelhança do lenho das três espécies estudadas, entretanto, é possível perceber variações intraespecíficas e interespecíficas. Como padrão geral e comum, todas apresentam camadas de crescimento delimitadas por espessamento das fibras e por faixas de parênquima marginal com maior concentração de elementos de vasos (Fig. 20 a-f). Jain e Singh (1980) ao descreverem a anatomia da madeira de diferentes táxons de Bignoniaceae, apresentaram caracteres padrões

nos indivíduos, como, vasos com diferentes dimensões, anéis de crescimento delimitados de acordo com as variações sazonais de climas tropicais, presença de raios e parênquima axial. Os elementos de vaso mostram uma distribuição difusa, solitários em sua maioria ou em arranjos radiais com até três; em seção transversal são prioritariamente circulares, as placas de perfuração são simples. As fibras possuem paredes espessas, podendo alternar com regiões com as paredes mais finas. O parênquima axial ocorre de forma paratraqueal vasicêntrico aliforme na maioria das vezes, podendo ser confluyente e formar faixas irregulares com até seis células de largura. Os raios são uni ou bisseriados (Fig. 20 d, e, f). Essas observações corroboram as descritas por Jain e Singh (1980), e são acrescidas por estudos recentes em filogenia molecular, os quais buscam elucidar caracteres marcadores que justifiquem classificações taxonômicas, por exemplo, as avaliações de Pace et al. (2015), que analisaram diferentes clados em Bignoniaceae e contribuíram para esclarecer sobre divergências taxonômicas nessa família por meio da anatomia da madeira.

A confrontação das três espécies revela que *H. impetiginosus* e *H. chrysotrichus* são mais próximos entre si em suas características, distinguindo-os do *H. roseoalbus* por estes conterem as fibras constantemente mais espessas, uma definição mais nítida dos anéis marcadores (Fig. 20 a, b, c) e uma maior quantidade de amido e cristais no parênquima axial e radial, além da medula (Fig. 21 a- i). O tratamento de estresse hídrico conduzido comparativamente mostrou que o ipê amarelo não apresentou diferenças marcantes como resposta, percebendo-se a formação de dois anéis marcadores nos dois grupos experimentais, podendo ocorrer fusão desses anéis (Fig. 14 e), refletindo provavelmente a marcação dos macrociclos ambientais representados por inúmeros fatores abióticos que definem as estações durante os três anos de duração desse estudo, podendo ser descritas as mesmas características para *H. impetiginosus*. *H. roseoalbus* foi o mais irregular das três espécies estudadas, mostrando grande alteração nos padrões celulares, não sendo possível associar as variações na distribuição dos elementos de vaso, fibras e parênquima axial com qualquer variável considerada, sejam as impostas no experimento ou macroclimáticas, o que indica ser essa a espécie a mais plástica em termos de lenho das plantas estudadas, fazendo com que seu lenho não tenha homogeneidade dentro do indivíduo ou entre outros submetidos as mesmas condições de desenvolvimento. Pace et al. (2015) catalogando taxonomicamente diferentes bignoniáceas através da anatomia da madeira, possibilitaram a diferenciação do complexo gênero *Tabebuia*, inserindo as espécies que apresentavam madeira pesada, *hardwood*, no gênero *Handroanthus*; as espécies com madeira leve, *softwood*, permaneceram no gênero *Tabebuia*; e ainda, as

espécies que apresentavam lenhos diferentes dos padrões anatômicos anteriores, foram inseridas no gênero *Roseodendron*. Para os ipês do presente estudo, observou-se conformidade entre os lenhos de *H. chrysotrichus* e *H. impetiginosus*, sendo relatado para *H. impetiginosus* que apesar da rigidez do lenho este apresenta certa flexibilidade, e por isso é usado para confecção de arco e flecha por povos indígenas. Em contrapartida, *H. roseoalbus* apresentou lenho heterogêneo e menos rígido que os anteriores, assim assemelhando mais ao padrão encontrado em *Tabebuia* sp.

Um anel atípico formado por células parenquimáticas distintas daquelas do parênquima axial e radial foi formado em apenas uma face do lenho de alguns indivíduos dos ipês roxo e branco, sua organização, tamanho e forma era aparentemente aleatória, sem que fosse possível associar tal organização celular com qualquer evento com uma margem de segurança considerável (Fig. 16-18, e). Tendo em vista a posição dos lotes de plantas nas bancadas, a inferência mais plausível é uma resposta a incidência do sol lateralmente na casa de vegetação, uma vez que essa organização parenquimática lembra padrões de resposta ao fogo e aquecimento. Bigio **et al.** (2010) investigando a resposta de *Castanea sativa* a eventos de incêndio demonstrou a variação cambial com aumento da formação de raios e da frequência de vasos, a fim de reestabelecer a estabilidade da condução hidráulica no xilema, sendo também frequente a formação de tiloses, calos e cicatrizes em resposta ao aquecimento, além de proteger a planta contra a entrada de patógenos através da lesão. Arbella **et al.** (2012), também relataram a ocorrência de calos e cicatrizes em estudo sobre as respostas cambiais ao dano mecânico, com aumento de células parenquimáticas em raios e maior frequência de vasos. O anel atípico encontrado nos ipês parece ser semelhante aos calos ou cicatrizes formados pela resposta do câmbio às injúrias referidas anteriormente. Os dados estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5- Análise estatística das medidas das fibras e elementos de vaso dos *Handroanthus*. Comparação dos lenhos juvenil e maduro das plantas irrigadas e estressadas.

Área das fibras		<i>H. chrysotrichus</i>		<i>H. roseoalbus</i>		<i>H. impetiginosus</i>	
Irigado/Estressado		212,16 a	226,10 a	151,35 a	163,36 a	151,65 b	200,86 a
Irigado/Estressado (lenho maduro)		-	-	196,86 a	184,68 a	-	-
Juvenil/Maduro		-	-	190,77 a	157,35 b	-	-
Espessura das fibras							
Juvenil (Irigado/ Estressado)		5,58 a	5,64 a	4,24 a	4,35 a	4,52 b	5,53 a
Maduro		-	-	3,58 a	3,83 a	-	-
Juvenil/ Maduro		-	-	3,71 b	4,30 a	-	-
Elementos de Vaso							
EV juvenil	Irigado/ Estressado	38,45 a	39,24 a	37,77 b	43,01 a	37,75 a	40,46 a
EV maduro	Irigado/ Estressado	-	-	51,36 a	50,52 a	50,60 a	51,12 a
EV irrigado	Juvenil/ Maduro	39,24 b	45,99 a	40,39 b	50,94 a	39,10 b	50,86 a
EV estressado	Juvenil/ Maduro	38,45 b	45,05 a	-	-	-	-

Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância ($P \leq 0,05$).

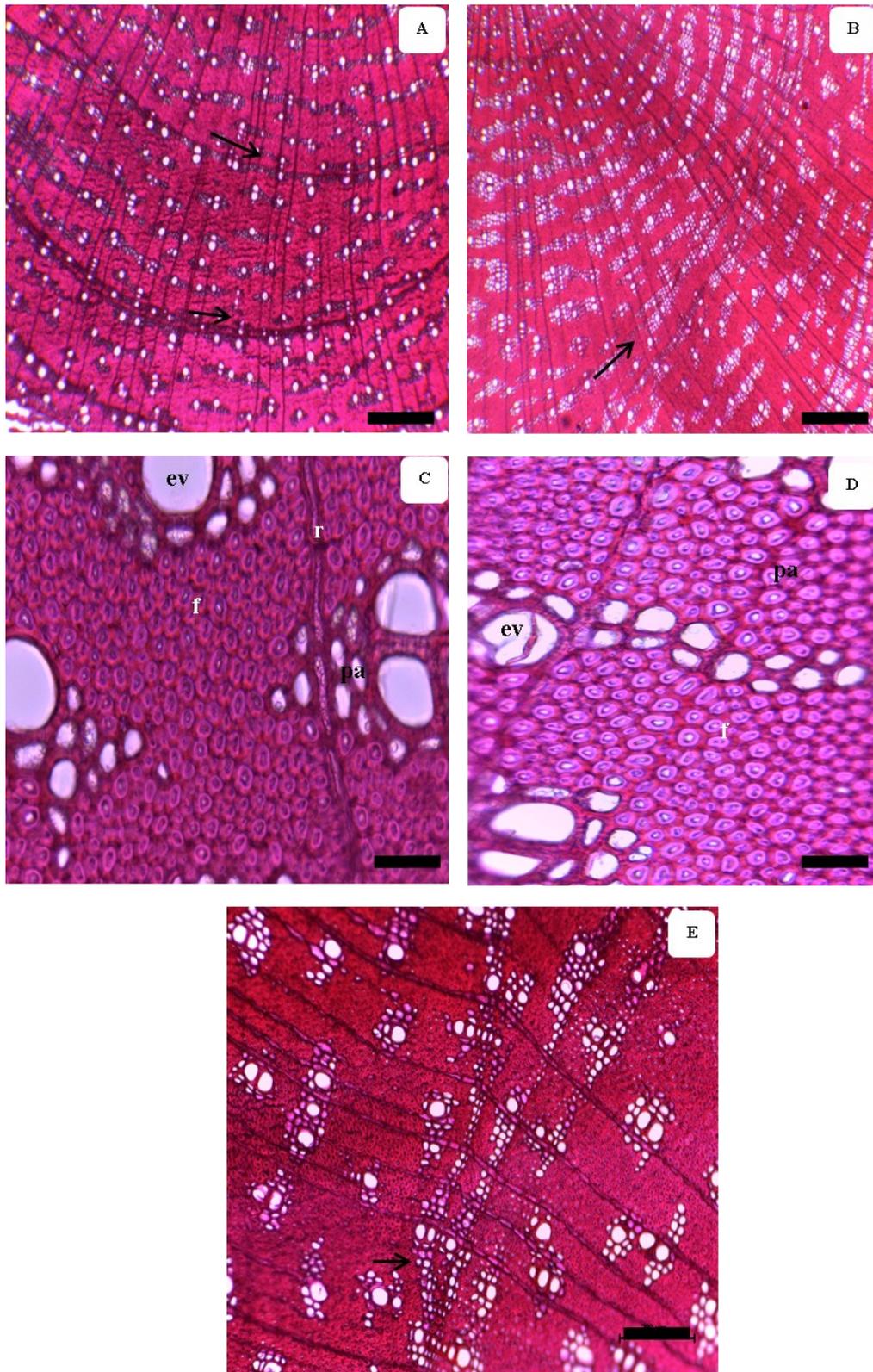


Figura 14- CT xilema secundário do *H. crysotrichus* (ipê amarelo). (a, b) Anéis marcadores; (c, d) Fibras sempre espessas. (a, c- planta irrigada, b, d- planta estressada); (e)-Fusão do anel marcador. [ev- elemento de vaso; f-fibras; pa-parênquima axial; r-raio] A-B 50 μ m C-D 500 μ m E- 200 μ m



Figura 15- CT xilema secundário do *H. crysotrichus* (ipê amarelo). (a, b)- lenho juvenil; (c, d)- lenho maduro.

(a,c)- planta irrigada, (c, d)- planta estressada.

[ev- elemento de vaso; f-fibras; M- medula; pa-parênquima axial; r-raio] A-D 200μm

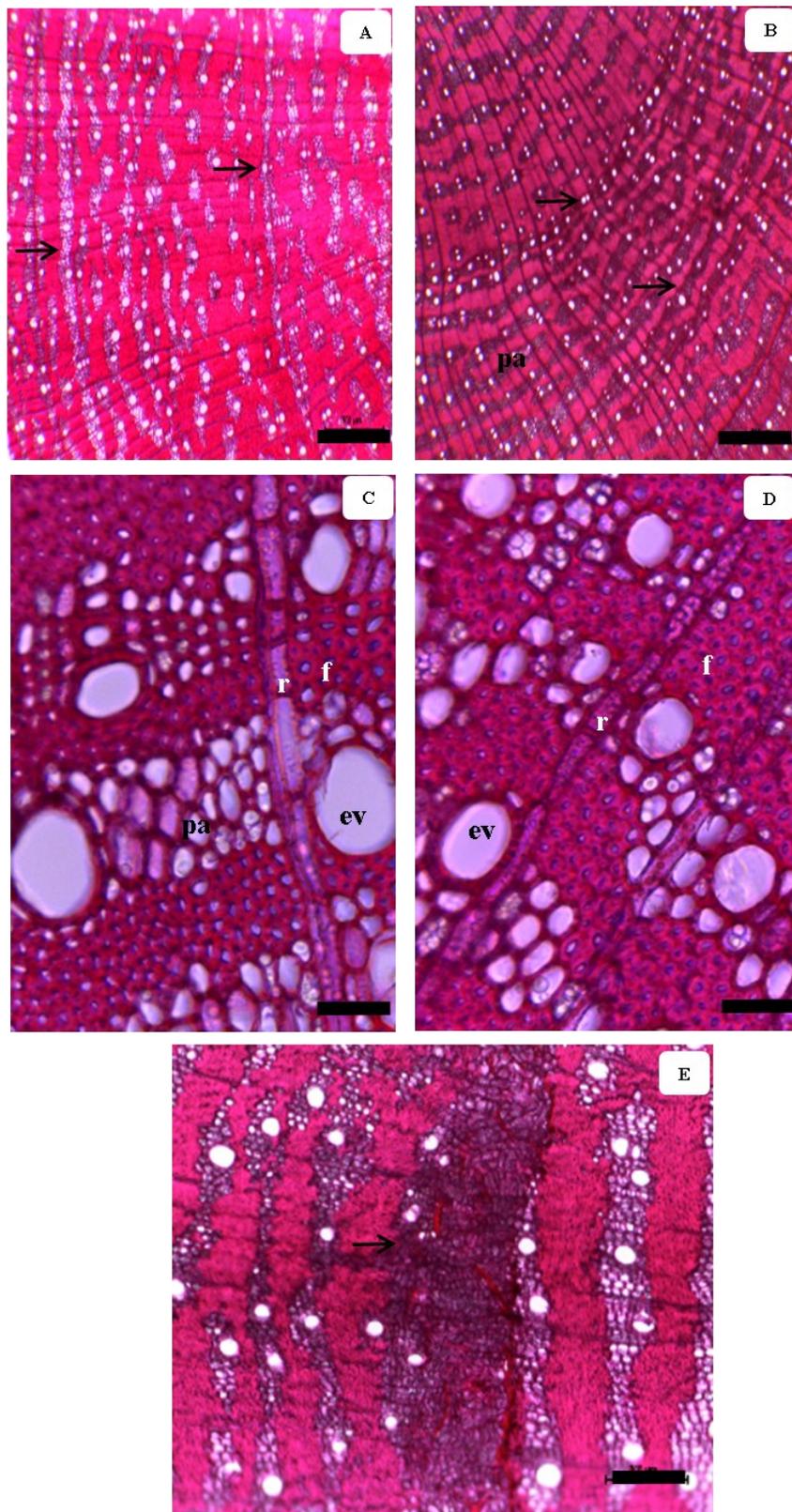


Figura 16- CT xilema secundário do *H. impetiginosus* (ipê roxo). (a, b) anéis marcadores; (c, d) fibras sempre espessas.

(a, c)- planta irrigada, (b, d)- planta estressada. (e)- anel atípico.

[ev- elemento de vaso; f-fibras; r- raio; pa- parênquima axial] A-B 50 μ m C-D 500 μ m E- 200 μ m



Figura 17 - CT xilema secundário do *H. impetiginosus* (ipê roxo). (a, b)- lenho juvenil; (c, d)- lenho maduro. (a, c) planta irrigada, (b, d)- planta estressada.

[f-fibras; M- medula; pa- parênquima axial] A-D 200 μ m

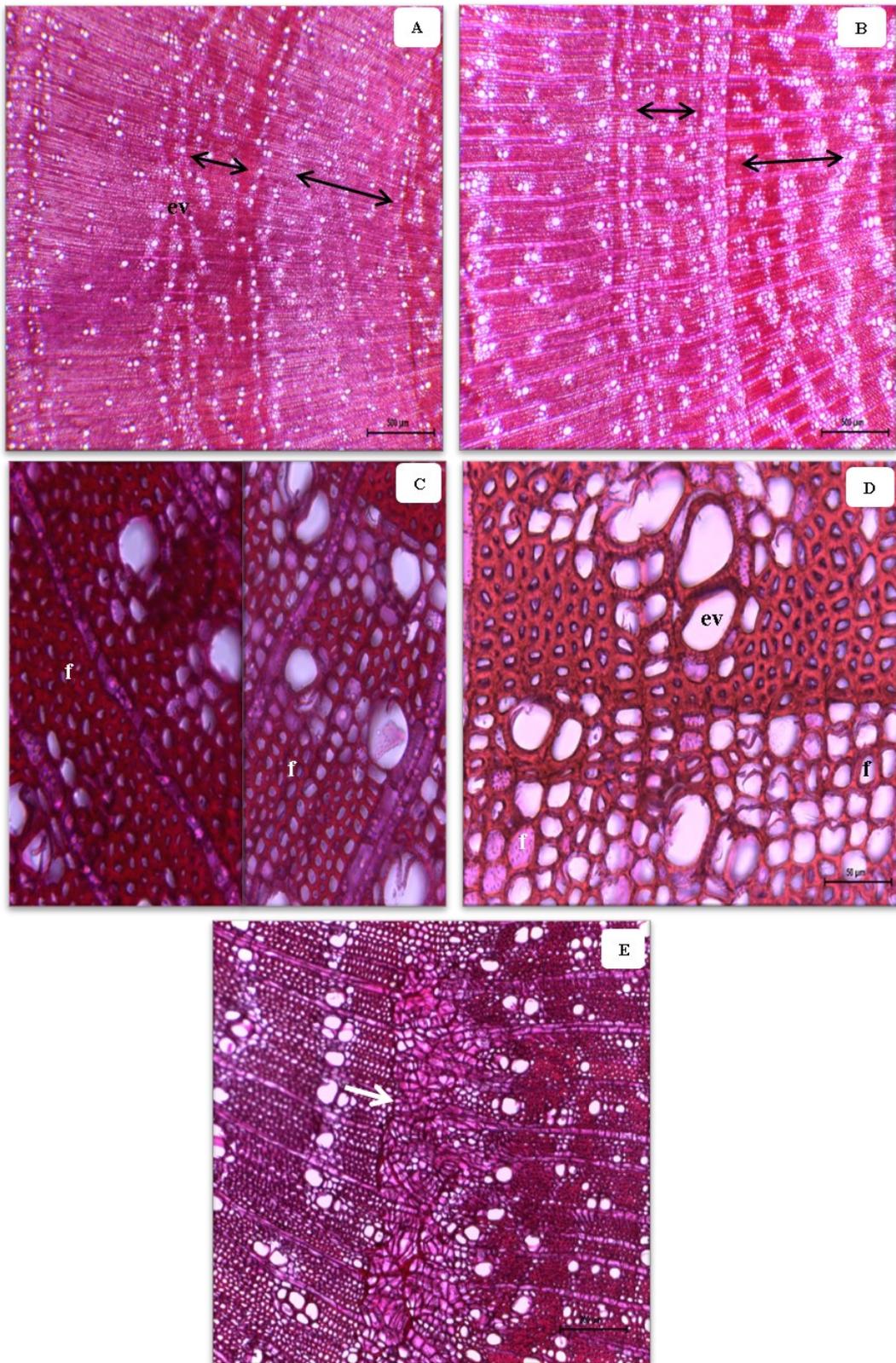


Figura 18- CT xilema secundário do *H. roseoalbus* (ipê branco).

(a, b) Anéis marcadores; (c, d) Fibras com maior e menor espessamento da parede.

(a, c)- planta irrigada. (b, d)- planta estressada. (e)- Anel atípico.

[ev- elemento de vaso; f-fibras] A-B 50μm C-D 500μm E- 200μm

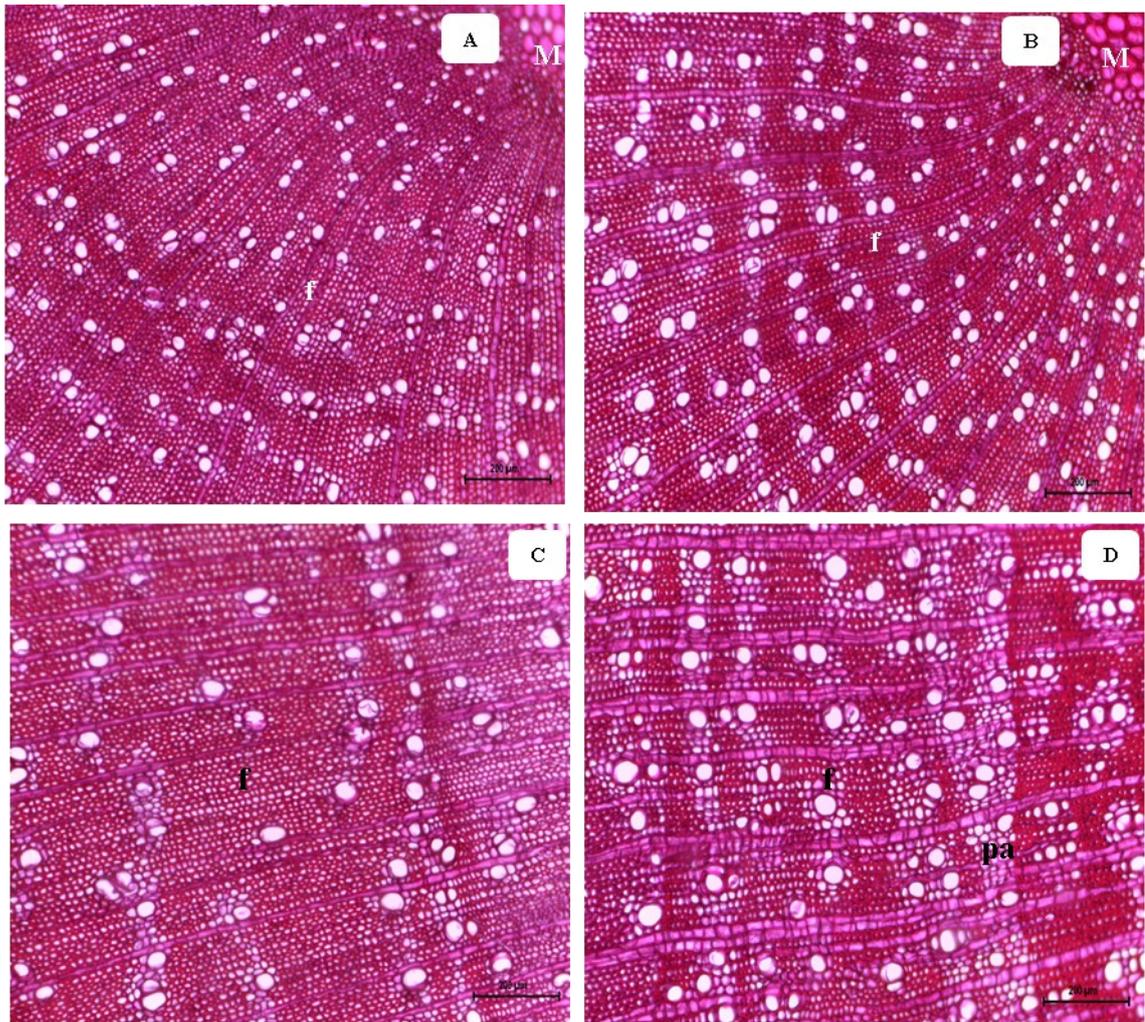


Figura 19- CT xilema secundário do *H. roseoalbus* (ipê branco). (a, b)- lenho juvenil. (c, d)- lenho maduro (a, c)- planta irrigada. (b, d)- planta estressada.

[f-fibras; M- medula; pa- parênquima axial] A-D 200μm

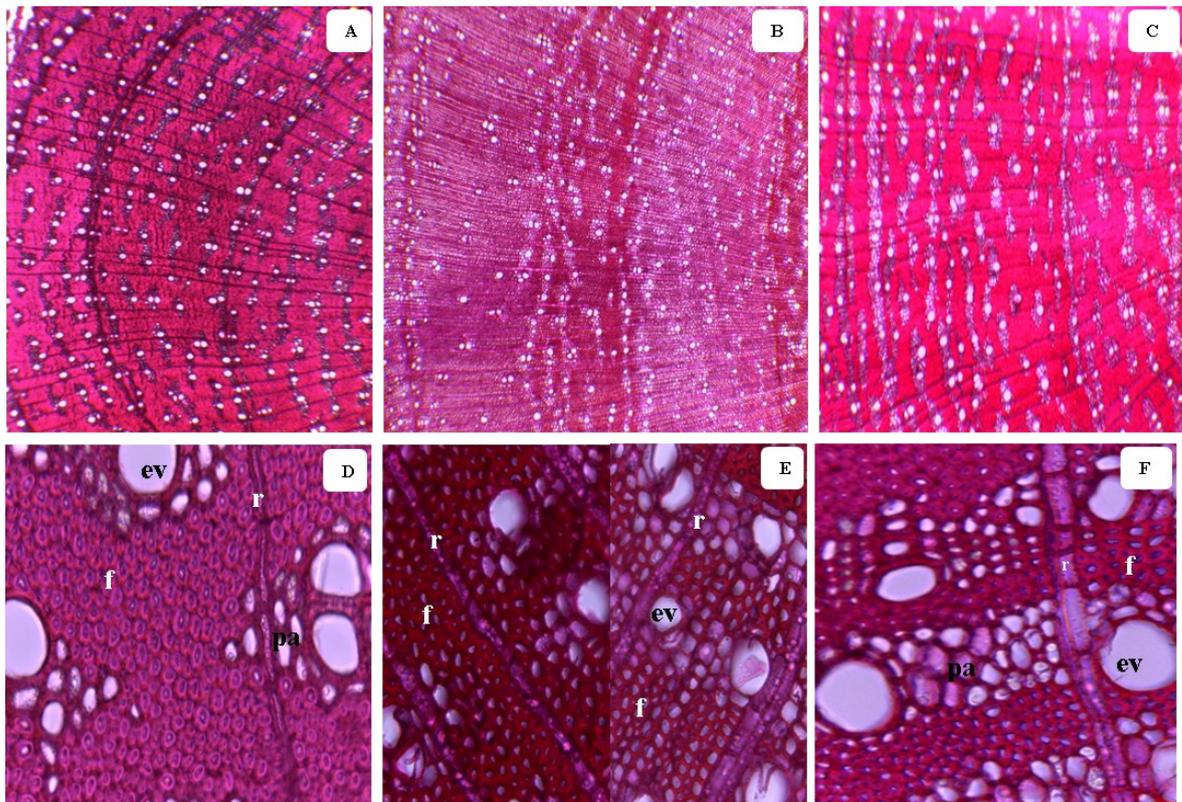


Figura 20- CT dos três ipês para comparação. (a, d) *H. cysotrichus* (ipê amarelo); (b, e) *H. roseoalbus* (ipê branco); (c, f) *H. impetiginosus* (ipê roxo).

(a, b, c) anéis marcadores; (d, e, f) espessura das fibras e distribuição do parênquima axial.

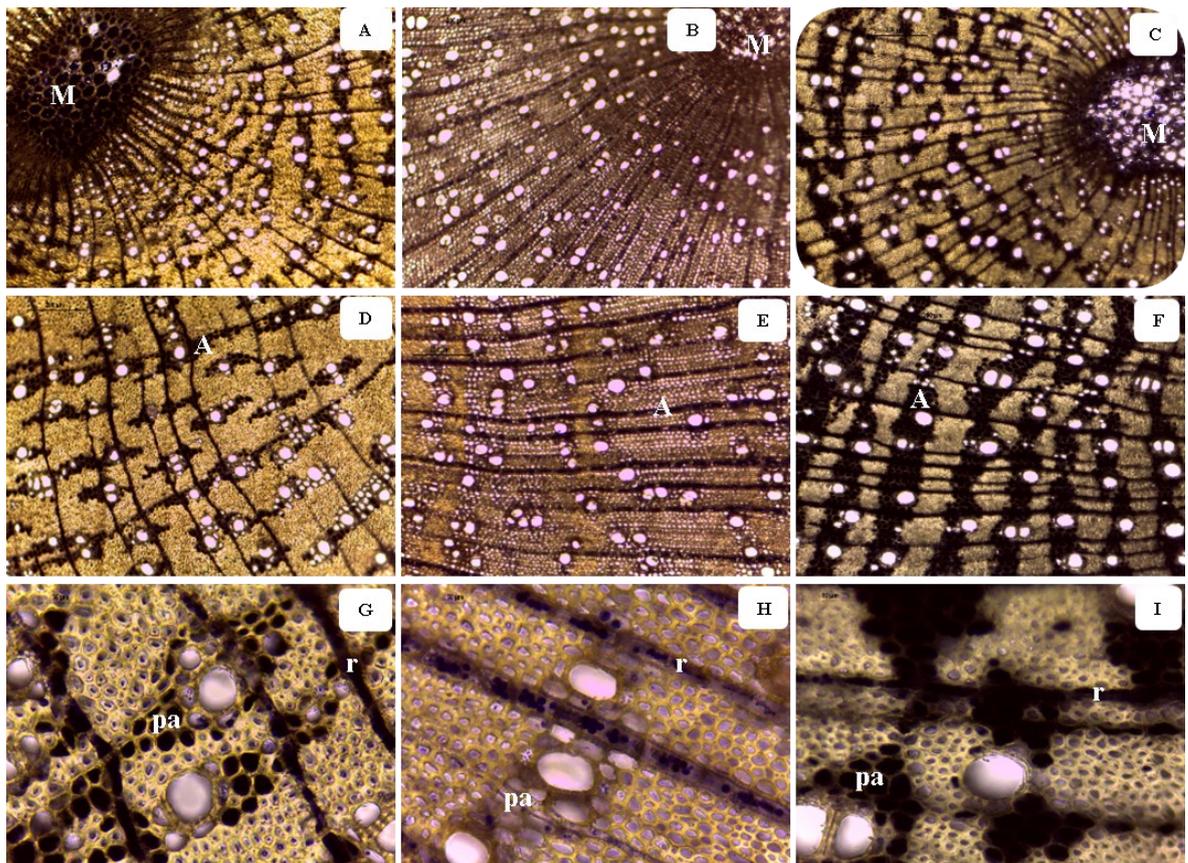


Figura 21 - CT dos três ipês corados com Lugol para comparação da ocorrência de amido.
 (a, d, g) *H. crysotrichus* (ipê amarelo); (b, e, h) *H. roseoalbus* (ipê branco); (c, f, i) *H. impetiginosus*
 (ipê roxo).

[ev- elementos de vaso; pa- parênquima axial; r-raio.] A-F 200 μ m G-I 50 μ m

5 Considerações finais

As avaliações fisiológicas de trocas gasosas nas três espécies de ipês revelaram a maior tolerância à seca para o *H. chrysotrichus* em relação aos ipês roxo e branco em todos os parâmetros observados. Dessa forma, foi possível concluir que *H. chrysotrichus* apresentou maior eficiência fotossintética e de uso da água em relação à *H. impetiginosus* e *H. roseoalbus*. Esses por sua vez, também apresentaram estratégias de tolerância ao déficit hídrico, estando o *H. impetiginosus* semelhante ao *H. roseoalbus*, entretanto, ambos se mostraram mais sensíveis ao estresse hídrico do que o *H. chrysotrichus*.

Quanto a liberação de eletrólitos e ao índice de dano de membrana foi possível concluir que o *H. roseoalbus* possui folhas mais resistentes aos baixos potenciais osmóticos, seguido pelo *H. impetiginosus*. O *H. chrysotrichus* mostrou maior dano de membranas e, portanto, suas folhas são mais sensíveis aos baixos potenciais osmóticos. Entretanto, as três espécies se mostraram bastante tolerantes ao estresse induzido, já que, mostraram índices maiores e mais relevantes de dano de membrana a partir do $\Psi_w = -3,0\text{MPa}$.

Em relação a anatomia da madeira, o *H. chrysotrichus* se mostrou mais adaptado às condições de seca no ambiente por apresentar caracteres xeromórficos que proporcionam rigidez ao lenho. O *H. impetiginosus* acompanhou o *H. chrysotrichus*, no entanto com uma maior variação do parênquima axial e anéis marcadores, mostrando variação entre lenho juvenil e maduro, sendo, portanto, mais sensível que o amarelo, mas ainda mantendo uma identidade específica. O *H. roseoalbus* foi o mais plástico dos três com variações em relação a espessura das paredes e arranjo das células do xilema secundário, demonstrando ter um lenho menos rígido e heterogêneo em função da sua organização celular.

Analisando os dados aqui obtidos e retomando a hipótese original sobre a diferença na madeira dos três ipês em estudo e sua capacidade de resposta ao estresse hídrico, conclui-se que existem diferenças significativas entre as espécies. Os parâmetros observados nesse estudo permitem atribuir ao *H. chrysotrichus* maior resistência ao estresse hídrico, considerando sua madeira mais estável, melhor eficiência fotossintética e a ocorrência de mecanismos para tolerar a falta de água. Em seguida, o *H. impetiginosus* apresentou média resistência ao estresse hídrico por também apresentar madeira rígida e índices satisfatórios de eficiência fotossintética e tolerância à baixos potenciais osmóticos. E ainda, ao *H. roseoalbus* pode ser atribuído menor resistência ao estresse hídrico, devido a madeira leve com organização celular heterogênea e menor eficiência fotossintética apesar de tolerar baixos potenciais osmóticos. As três espécies

responderam de forma cíclica as variáveis ambientais sem uma marcante alteração em função da disponibilidade hídrica no nível aqui testado.

A formação do parênquima atípico nos ipês roxo e branco e a excentricidade desenvolvida no lenho devido a fusão dos anéis no *H. chrysotrichus*, não obedecendo ao ritmo do experimento de estresse hídrico induzido, indicar que essas espécies são bastante responsivas as mudanças climáticas e, por isso, necessitam de estudos mais aprofundados sobre as interações que podem ocorrer com o ambiente externo, principalmente em relação a temperatura e incidência solar. O presente estudo permitiu claramente distinguir as respostas fisiológicas e anatômicas em cada espécie analisada.

Por fim, a partir desse estudo pode-se atribuir a *H. chrysotrichus* o uso adequado por toda a cidade devido a maior tolerância ao estresse hídrico e, seu porte médio permite o plantio embaixo da fiação elétrica e em calçadas estreitas. *H. impetiginosus* pode ser indicado para arborização viária e de praças, com indivíduos localizados opostos a fiação elétrica devido ao porte alto e copa densa da árvore, e pode ser atribuída a espécie média tolerância ao estresse hídrico. Já *H. roseoalbus* deve ser preferido em calçadas das residências devido a necessidade de regas frequentes, sendo possível que a menor ocorrência desses indivíduos na cidade seja em virtude de sua menor tolerância ao estresse hídrico quando comparado as demais espécies de ipês. Seu porte médio deve estar em harmonia com os demais equipamentos urbanos possivelmente presentes.

Referências

- ABBADE, L. C., PAIVA, P. D. O. P., PAIVA, R., C. M.R., CENTOFANTE, A. R. OLIVEIRA, C. Anatomia foliar de ipê branco (*Tabebuia roseo alba* (Ridl.) Sand.)– Bignoniaceae, proveniente do cultivo *ex vitro e in vitro*. **Acta Scientiarum**. Biological Sciences Maringá, v. 31, n. 3, p. 307-311, 2009.
- ALVES, R. C. OLIVEIRA, J. T. S. MOTTA, J. P., PAES, J. Caracterização Anatômica Macroscópica de Madeiras Folhosas Comercializadas no Estado do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**. v. 19, n.3 p.352-361, 2012.
- AMADO, S. FERREIRA, I. N. M. CHAVES FILHO, J. T. Comparação anatômica do lenho de *Handroanthus impetiginosus* e *Handroanthus avellanadae*. **Revista Anhanguera Goiânia** v.16, n. 1, jan/dez. p. 34-41, 2015.
- ARBELLAY, E. FONTI, P. STOFFEL, M. Duration and extension of anatomical changes in wood structure after cambial injury. **Journal of Experimental Botany**, v. 63. n. 8. p. 3271–3277, 2012.
- BAJJI, M.; KINET, J-M.; LUTTS, S. The use of electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as water stress tolerance test in durum wheat. **Journal of Plant Growth Regulation**, 36, 61-70. 2002.
- BELO HORIZONTE. Disponível em: <http://www.belo Horizonte.mg.gov.br/>. Acesso em: 14 de setembro de 2015.
- BIGIO, E. GÄRTNER, H. CONEDERA, M. Fire-related features of wood anatomy in a sweet chestnut (*Castanea sativa*) coppice in southern Switzerland. **Trees**. v.24 .p.643–655. 2010.
- BRUN, E. J. ROSA, S, F. ROPPA, C. SCHUMACHER, M. V. BRUN, F. G. K. Avaliação nutricional de espécies nativas utilizadas na arborização do campus da Universidade Federal de Santa Maria-RS. **REVSBAU**, Piracicaba – SP, v.7, n.1, p. 89-111, 2012.
- CABRAL, E. L. BARBOSA, D. C. A. SIMABUKURO, E. A. Crescimento de plantas jovens de *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore submetidas a estresse hídrico. **Acta botanica brasílica**. 18(2): 241-251. 2004.
- CALBO, M. E. R. MORAES, J. A. P.V. Fotossíntese, condutância estomática, transpiração e ajustamento osmótico de plantas de buriti submetidas a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**. v.9 n.2 p.117-123, 1997.

CALDEIRA JUNIOR, C. F. Xilema e propriedades hidráulicas de plantas *Caryocar brasiliense* Camb. (Pequi) em diferentes ambientes. 2009. 42f. **Dissertação** (Programa de pós-graduação em Agronomia) Universidade Federal de Lavras. Lavras- MG.2009.

CAMPELO, D. et al. Trocas gasosas e eficiência do fotossistema II em plantas adultas de seis espécies florestais em função do suprimento de água no solo. **Revista Árvore**, v. 39, n.5 Viçosa set./out. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000500020>

CARVALHO, E.C. D. **A arquitetura hidráulica explica a ocorrência e a abundância de lianas em ambientes semiáridos?** 2014.74f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais). Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza- CE. 2014.

CHAVES FILHO, J.T. STACCIARINI-SERAPHI, E. Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira (*Solanum lycocarpum* St.-Hil.) em resposta ao estresse hídrico. **Revista Brasileira Botânica**, São Paulo, v.24, n.2, p.199-204, jun. 2001.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Manual de Arborização**. 1. ed. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2011

DOMBROSKI, J. L. D.; PRAXEDES, S. C.; FREITAS, R. M. O.; PONTES, F. M. Water relations of Caatinga trees in the dry season. **South African Journal of Botany**, África do Sul, v. 77, n. 2, p. 430-434, 2011

DOMBROSKI, J. D.; FREITAS, R. M. O.; TOMCZAK, V. E.; PINTO, J. R. S.; FARIAS, R. M. Ecophysiology of water stressed *Handroanthus impetiginosus* (Mart. Ex. DC) Mattos) Seedlings. **Scientia Florestalis**. Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 155-163, mar. 2014

ESPOSTI, M. S. O. D. **Estresse hídrico em duas espécies arbóreas de diferentes estágios sucessionais**. 2013. 38 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais.). Centro de Biociências e Biotecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campo dos Goytacazes – RJ abril/2013.

FARIA, A. P. LEMOS-FILHO, J. P. MODOLO, L.V. FRANÇA, M. G. C. Electrolyte leakage and chlorophyll *a* fluorescence among castor bean cultivars under induced water deficit. **Acta Physiology Plant**. n.35 p.119–12. 2013.

GENTRY, A. H. **Flora Neotropica Bignoniaceae Part II (Tribe Tecomeae)**. The New York Botanical Garden. New York. April, 1992.

GROSE, S.; OLMSTEAD R. G.; Taxonomic Revisions in the Polyphyletic Genus *Tabebuia*. l. (Bignoniaceae). **Systematic Botany**, 32(3): pp. 660–670, 2007b.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS. List of Microscopic Features for Hardwood Identification. **IAWA Bulletin**, v.10, n.3, p. 219-332, 1989.

IPCC, 2014: Summary for policymakers. **In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part A: Global and Sectoral Aspects. Disponível em: ipcc-wg2.gov/AR5/.../WG2AR5_SPM_FINAL.pdf

JAIN, D. K. SINGH, V. **Proc. Indian. Sci. (Plant. Sci.)** v. 89, n. 6. p. 443-456. December 1980.

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

KRAUS, J.E.; ARDUIN M. **Manual Básico de métodos em morfologia vegetal**. Seropédica, Rio de Janeiro. EDUR, 1997. 198p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. Tradução: C.H.B.A. Prado. São Carlos. RiMa. 2000

LOBODA, C. R. Avaliação das áreas verdes em espaços públicos no município de Guarapuava-PR. **Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales**, v. IX, n. 194, 2005.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 2002. v.2, 368p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. 5. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. v. 1.

MONEY, N. P. Osmotic Pressure of Aqueous Polyethylene Glycols. Relationship between Molecular Weight and Vapor Pressure Deficit. **Plant Physiology**, 91: 766-769. 1989

MUÑIZ, G. I. B. MARCHIORI, J. N. C. Anatomia da madeira de duas bignoniáceas da floresta estacional de Misiones – Argentina. **BALDUINIA**. n.18, p. 20-25, 15-IX-2009

PACE, M. R. LOHMANN, L. G. OLMSTEAD, G. R. ANGYALOSS, V. Wood anatomy of major Bignoniaceae clades. **Plant. Syst. Evol.** (2015) 301 p.967–995 DOI 10.1007/s00606-014-1129-2

PRÁŠIL, I.; ZÁMEČNÍK, J. The use of a conductivity measurement method for assessing freezing injury. I. Influence of leakage time, segment number, size and shape in a sample on evaluation of the degree of injury. **Environmental and Experimental Botany**, 40: 1-10. 1998.

SANDWICH, N. Y.; HUNT, D. R. **Bignoniaceae**. Flora Ilustrada Catarinense, Itajaí, p. 1-172, 1974.

SCALON, S. P. Q. Mussury, R. M. Euzébio, V. L. M. Kodama, F. M. Kissmann, C. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 655-662, out.-dez. 2011.

SOUZA V. C.; LORENZI H. **Botânica Sistemática**: guia ilustrado para a identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira, baseado em APG/II. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2005.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica Sistemática**: guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG II. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 574 p.

SANTOS, Reginaldo Ferreira; CARLESSO, Reimar. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.287-294, 1998.

STOCKMAN, A. Sementes de ipê-branco (*Tabebuia roseo-alba* (Ridl.) Sand. – Bignoniaceae): temperatura e substrato para o teste de germinação. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 3 p. 139-143. 112p.2007.

TURNER, N.C. Further progress in crop water relations. In Advances in agronomy (D.L. Sparks, ed.). **Academic Press**, New York, p.293-337.1996.

VIDAURRE, G. B. LOMBARDI, L. R. NUTTO, L. FRANÇA, F. J. N. OLIVEIRA, J. T. S. ARANTES, M. D. C. Propriedades da Madeira de Reação. **Floresta e Ambiente**. v. 20(1):p.26-37. 2013.

VOLLAND-VOIGT, F. BRÄUNING, A. GANZHI, O. PETERS, T. MAZA, H. Radial stem variations of *Tabebuia chrysantha* (Bignoniaceae) in different tropical forest ecosystems of southern Ecuador. **Trees**. v. 25 p.39–48. 2011.