



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA



**RAIMUNDO LÁZARO MORAES DA CUNHA**

**COMPORTAMENTO ECOFISIOLÓGICO DO MOGNO BRASILEIRO (*Swietenia macrophylla* King) E DO MOGNO AFRICANO (*Khaya ivorensis* A. Chev.) SUBMETIDOS À ADUBAÇÃO POTÁSSICA, NAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS DE IGARAPÉ AÇU-PA, AMAZÔNIA ORIENTAL.**

**BELÉM**

**2010**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA



**RAIMUNDO LÁZARO MORAES DA CUNHA**

**COMPORTAMENTO ECOFISIOLÓGICO DO MOGNO BRASILEIRO (*Swietenia macrophylla* King) E DO MOGNO AFRICANO (*Khaya ivorensis* A. Chev.) SUBMETIDOS À ADUBAÇÃO POTÁSSICA, NAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS DE IGARAPÉ AÇU-PA, AMAZÔNIA ORIENTAL.**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, na área de concentração de Agroecossistemas da Amazônia, da Universidade Federal Rural da Amazônia e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Ciências Agrárias.

**Orientador: Dr. Cláudio José Reis de Carvalho**

**BELÉM  
2010**

---

Cunha, Raimundo Lázaro Moraes

Comportamento ecofisiológico do mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King) e do mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.) submetidos à adubação potássica, nas condições edafoclimáticas de Igarapé Açu-PA, Amazônia Oriental / Raimundo Lázaro Moraes Cunha. - Belém, 2010.

122f.: il.

Tese (Doutorado em Ciências Agrárias/Agroecossistemas da Amazônia) – Universidade Federal Rural da Amazônia/Embrapa Amazônia Oriental, 2010.

1. Mogno 2. *Swietenia macrophylla* 3. *Khaya ivorensis* 4. ecofisiologia 5. trocas gasosas 6. ajustamento osmótico 7. potássio. I. Título.

---

CDD – 634.9



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA

**RAIMUNDO LÁZARO MORAES DA CUNHA**

**COMPORTAMENTO ECOFISIOLÓGICO DO MOGNO BRASILEIRO (*Swietenia macrophylla* King) E DO MOGNO AFRICANO (*Khaya ivorensis* A. Chev.) SUBMETIDOS À ADUBAÇÃO POTÁSSICA, NAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS DE IGARAPÉ AÇU-PA, AMAZÔNIA ORIENTAL**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, na área de concentração de Agroecossistemas da Amazônia, da Universidade Federal Rural da Amazônia e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Ciências Agrárias

Aprovado em 14 de junho de 2010

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Dr. Cláudio José Reis de Carvalho**  
Orientador EMBRAPA-Amazônia Oriental

---

**Dr. Benedito Gomes dos Santos Filho**  
Co-orientador Instituto de Ciências Agrárias-UFRA

---

**Dr. Marco Antônio Menezes Neto**  
Universidade Federal do Pará-UFPA

---

**Prof. Dr. Hugo Alves Pinheiro**  
Instituto Sócio Ambiental e dos Recursos Hídricos-UFRA

---

**Prof. Dr. Ismael de Jesus Matos Viégas**  
Instituto de Ciências Agrárias-UFRA

---

**Prof. Dr. Roberto Cezar Lobo da Costa**  
Instituto de Ciências Agrárias-UFRA

**A DEUS, PELA GRAÇA E MISERICÓRDIA**

**A MINHA ESPOSA, MARIA ELIZABETH FURTADO DA CUNHA,  
PELA COMPREENSÃO, DEDICAÇÃO E APOIO IRRESTRITO PARA  
SUPERAR AS DIFICULDADES ENCONTRADAS NO DECORRER DA  
EXECUÇÃO DESTE TRABALHO**

**AOS MEUS QUERIDOS FILHOS,  
FERNANDA FURTADA DA PAZ  
RAFAELA FURTADO DA CUNHA E  
LUCAS FURTADO DA CUNHA,  
PELA COMPREENSÃO DISPENSADA NOS MOMENTOS DE  
AUSÊNCIA.**

## **AGRADECIMENTOS**

**Ao Dr. Cláudio José Reis de Carvalho pela amizade, confiança e valiosa orientação.**

Ao meu querido filho Alexandre Pinto da Cunha pelo companheirismo e valiosa colaboração nos trabalhos de campo e de laboratório.

**Aos Doutores Marco Antônio Menezes Neto, Hugo Alves Pinheiro, Ismael de Jesus Matos Viégas e Roberto Cezar Lobo da Costa pelas críticas e sugestões.**

Ao Dr. Benedito Gomes dos Santos Filho pela amizade e valiosas sugestões.

**Ao Biólogo Cléo Marcelo de Araujo Souza, à Química Industrial Maria Tereza Primo, aos Laboratoristas Ivanildo Alves Trindade, Neusa Maria da Silva Ferreira e Heliete Carvalho, pelo apoio na execução dos trabalhos de laboratório.**

Ao Eng<sup>o</sup> Agrônomo Arquimedes, e aos servidores Daulino, Jão Carlos, Luiz Gonzaga, Zacarias, Juvenal, Lucas, Luiz Lázaro, Batista, João, Levi, Benedito (Geraldo), Iridan, pelo apoio na implantação, condução e avaliação de campo.

**Ao servidor Demóstenes pela amizade e incentivo.**

Aos meus irmãos, pelo incentivo e apoio espiritual.

**A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram com críticas, sugestões ou pela sua agradável convivência, que permitiram a realização deste trabalho.**

## **AGRADECIMENTOS INSTITUCIONAIS**

**À Universidade Federal Rural da Amazônia, pela oportunidade de realização do curso.**

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA/Amazônia Oriental, pelo apoio laboratorial para as análises químicas e bioquímicas.

**Ao Centro Nacional da Lavoura Cacaueira-CEPLAC-Belém, pelo apoio instrumental para as mensurações da transpiração, condutância estomática e potencial hídrico foliar.**

À Rede 03-CT-PETRO Amazônia – PT1, pela ajuda financeira na aquisição de drogas para análises laboratoriais.

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	17
2	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	20
2.1	A ÁGUA NO SOLO.....	20
2.2	IMPORTÂNCIA DA ÁGUA PARA OS VEGETAIS.....	22
2.3	CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA E TRANSPIRAÇÃO.....	23
2.4	AJUSTAMENTO OSMÓTICO.....	26
2.5	O POTÁSSIO.....	28
2.5.1	<b>Função na planta</b> .....	28
2.5.2	<b>Interação com o nutriente fósforo, cálcio e magnésio</b> .....	31
2.5.3	<b>Teores na planta considerados adequados</b> .....	33
3	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	34
3.1	CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS.....	34
3.2	PLANTIO E TRATOS CULTURAIS.....	37
3.3	VARIÁVEIS AVALIADAS.....	37
3.3.1	<b>Variáveis ambientais</b> .....	38
3.3.2	<b>Variáveis biofísicas</b> .....	38
3.3.2.1	Determinação da condutância estomática, transpiração, temperatura da folha e radiação fotossinteticamente ativa.	38
3.3.2.2	Determinação do potencial hídrico foliar.....	38
3.3.2.3	Determinação do conteúdo relativo de água.....	39
3.3.3	<b>Variáveis bioquímicas</b> .....	39
3.3.3.1	Determinação das concentrações de carboidratos solúveis totais da folha.	40
3.3.3.2	Determinação das concentrações de sacarose da folha.....	41
3.3.3.3	Determinação das concentrações de amido da folha.....	41
3.3.3.4	Determinação das concentrações de aminoácidos solúveis totais da folha.	42
3.3.3.5	Determinação das concentrações de prolina da folha.....	43
3.3.3.6	Determinação dos teores de clorofila <b>a</b> , <b>b</b> , <b>a+b</b> e carotenóides da folha.	43
3.3.3.7	Determinação dos teores de P, K, Ca, Mg e Na da folha.....	44
3.3.3.8	Determinação dos teores de nitrogênio da folha.....	45



3.3.3.9	Determinação dos teores de P, K, Ca, Mg e Na do solo.....	45
3.3.3.10	Determinação dos teores de nitrogênio do solo.....	46
3.3.3.11	Determinação do pH do solo.....	46
3.3.4	<b>Variáveis de crescimento</b> .....	47
3.4	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA....	47
4	<b>RESULTADOS</b> .....	49
4.1	AMBIENTAIS.....	49
4.1.1	<b>Precipitação, radiação fotossinteticamente ativa, umidade relativa do ar, temperatura do ar, temperatura da folha, déficit de pressão de vapor entre a folha e a atmosfera.</b>	49
4.2	BIOFÍSICOS.....	53
4.2.1	<b>Transpiração e condutância estomática mensais</b> .....	53
4.2.2	<b>Transpiração e condutância estomática ao longo do dia</b> .....	55
4.2.3	<b>Conteúdo relativo de água e potencial hídrico foliar</b> .....	58
4.3	BIOQUÍMICOS.....	61
4.3.1	<b>Teores de carboidratos solúveis totais, sacarose, prolina e aminoácidos solúveis totais</b> .....	61
4.3.2	<b>Teores de amido</b> .....	62
4.3.3	<b>Teores de clorofila a, clorofila b, clorofila a+b e carotenóides</b> .....	63
4.3.4	<b>Teores de nutrientes nas folhas</b> .....	65
4.3.4.1	Teores de nitrogênio, fósforo e sódio.....	65
4.3.4.2	Teores de potássio, cálcio e magnésio.....	66
4.3.5	<b>Teores de nutrientes e pH do solo</b> .....	69
4.4	CRESCIMENTO.....	70
4.4.1	<b>Altura da planta, diâmetro do caule e número de folhas</b> .....	70
5	<b>DISCUSSÃO</b> .....	74
6	<b>CONCLUSÕES</b> .....	97
7	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	199

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Conteúdo	Página
<b>Figura 1</b>	Balanço hídrico climatológico, segundo Thornthwaite e Mather, do período compreendido entre 2000 a 2007 (profundidade do solo: 125 mm) de Igarapé Açu-PA (Lat.1°11'S, Long.47°35'W). Precipitação pluviométrica (Pp, mm); evapotranspiração (Etp, mm); déficit hídrico (Def, mm); excedente hídrico (Exc, mm).	36
<b>Figura 2</b>	Croqui da área experimental mostrando a distribuição dos tratamentos e detalhes das parcelas.	48
<b>Figura 3</b>	Curso mensal da precipitação (Pp; A), radiação fotossinteticamente ativa (RFA; B), umidade relativa (UR; C), temperatura do ar (Tar; D), temperatura da folha (Tfol; E) e déficit de pressão de vapor entre folha e atmosfera (DPVFA; E) em plantas de <i>S. macrophylla</i> e <i>K. ivorensis</i> , nas condições edafoclimáticas de 2006 e 2007, em Igarapé Açu-PA.	51
<b>Figura 4</b>	Curso diário da radiação fotossinteticamente ativa (RFA; A), umidade relativa (UR; B), temperatura do ar (Tar; C), temperatura da folha (Tfol; D), déficit de pressão de vapor entre folha e atmosfera (DPVFA; E) em plantas de <i>S. macrophylla</i> (SM) e <i>K. ivorensis</i> (KI) tomadas no final do período chuvoso (PC; jul.) e período seco (PS; nov.) de 2007, em Igarapé Açu-PA.	52
<b>Figura 5</b>	Variação mensal da transpiração (E; A) e condutância estomática (gs; B), tomadas entre 12-13 h, em folhas de <i>S. macrophylla</i> e <i>K. ivorensis</i> nas condições edafoclimáticas de Igarapé Açu-PA, em 2006 e 2007. As comparações entre médias foram avaliadas pelo teste Tukey (P<0,05).	54
<b>Figura 6</b>	Variação diária da transpiração (E; A e C) e condutância	57

	estomática (gs; B e D) em folhas <i>S. macrophylla</i> (Sm) e <i>K. ivorensis</i> (Ki) no período chuvoso e período seco de Igarapé Açu-PA, em 2006 e 2007. As comparações entre médias foram avaliadas pelo teste Tukey (P<0,05).	
<b>Figura 7</b>	Variação diurna do conteúdo relativo de água (CRA) e do potencial hídrico foliar ( $\Psi_{fol}$ ) <i>K. ivorensis</i> e <i>S. macrophylla</i> , no final do período chuvoso (jul.) e seco (Nov.) de Igarapé Açu-PA, em 2007. Letras minúsculas comparam as variáveis entre períodos do dia, par uma mesma espécie; letras maiúsculas comparam as variáveis entre espécies, num mesmo período do dia. As médias foram comparadas pelo teste Tukey (P<0,05).	59
<b>Figura 8</b>	Teores de amido em folhas de <i>K. ivorensis</i> (KI) e <i>S. macrophylla</i> (SM) nas condições do período chuvoso (PC) e período seco (PS) de Igarapé Açu-PA, em 2007. As comparações entre médias foram avaliadas pelo teste Tukey (P<0,05).	62
<b>Figura 9</b>	Teores de clorofila <b>a</b> em folhas de <i>K. ivorensis</i> (KI) e <i>S. macrophylla</i> (SM) nas condições do períodos chuvoso (PC) e período seco (PS) de Igarapé Açu-PA, em 2007. Letras minúsculas comparam a variável entre espécies e entre períodos. As comparações entre médias foram avaliadas pelo teste Tukey (P<0,05).	63
<b>Figura 10</b>	Teores de clorofila <b>b</b> (A), clorofila <b>a+b</b> (B) e carotenóides (C) em folhas de <i>K. ivorensis</i> (KI) e <i>S. macrophylla</i> (SM) nas condições do período chuvoso e período seco de Igarapé Açu-PA, em 2007. Letras minúsculas comparam as variáveis entre espécies em cada período e letras maiúsculas comparam as variáveis entre períodos, em cada espécie. As comparações entre médias foram realizadas pelo teste de Tukey (P<0,05).	64
<b>Figura 11</b>	Teor médio de cálcio, magnésio e potássio nas folhas de <i>K. ivorensis</i> e <i>S. macrophylla</i> submetidas a quatro doses	68

	de KCl nas condições edafoclimáticas de Igarapé Açu-PA, em 2007. Os dados referem-se às médias de quatro repetições. Coeficiente de determinação seguido por um asterisco indica significância de regressão pelo teste F ( $P < 0,05\%$ ).	
<b>Figura 12</b>	Altura da planta (A), diâmetro do caule (B) e número de folhas (C) de plantas de <i>K. ivorensis</i> e <i>S. macrophylla</i> ao final do período chuvoso (PC, jul.), período de transição (PT, ago.) e período seco (PS, nov.) de Igarapé Açu-PA, em 2006 e 2007. Barras comparam as variáveis dentro de cada período; letras comparam as variáveis entre períodos, em cada ano. As comparações entre médias foram avaliadas pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ).	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela	Conteúdo	Página
<b>Tabela 1</b>	Teores de macronutrientes nas folhas de essências florestais: (*) considerados adequados, segundo Malavolta, 1997; (**) obtidos por outros autores.	33
<b>Tabela 2</b>	Características físicas e químicas do solo (0-20 cm) da área experimental, localizada no <i>campus</i> da Universidade Federal Rural da Amazônia, município de Igarapé Açu-PA.	35
<b>Tabela 3</b>	Precipitação pluviométrica (mm) mensal e anual, no período de 1998 a 2007 em Igarapé Açu-PA.	36
<b>Tabela 4</b>	Coeficiente de correlação de Pearson entre a condutância estomática ( $g_s$ ), transpiração ( $E$ ), umidade relativa (UR), radiação fotossinteticamente ativa (RFA), déficit de pressão de vapor entre folha e atmosfera ( $DPV_{FA}$ ), temperatura foliar ( $T_{fol}$ ), temperatura do ar ( $T_{ar}$ ), conteúdo relativo de água (CRA) e potencial hídrico da fol ( $\Psi_{fol}$ ) em plantas de <i>K. ivorensis</i> e <i>S. macrophylla</i> nas condições edafoclimáticas de Igarapé Açu-PA, em 2007.	58
<b>Tabela 5</b>	Conteúdo relativo de água (CRA) e potencial hídrico foliar ( $\Psi_{fol}$ ) em plantas de <i>S. macrophylla</i> e <i>K. ivorensis</i> , nas condições edafoclimáticas de Igarapé Açu-PA, em 2007.	60
<b>Tabela 6</b>	Coeficiente de correlação de Pearson entre conteúdo relativo de água (CRA), potencial hídrico da folha ( $\Psi_{fol}$ ), umidade relativa (UR), radiação fotossinteticamente ativa (RFA), temperatura do ar ( $T_{ar}$ ) e déficit de pressão de vapor entre folha e atmosfera ( $DPV_{FA}$ ) em plantas de <i>K. ivorensis</i> e <i>S. macrophylla</i> nas condições edafoclimáticas de Igarapé Açu-PA, em 2007.	60
<b>Tabela 7</b>	Teores de carboidratos solúveis totais (CST), sacarose, Prolina e aminoácidos solúveis totais (AST) em folhas	61

	de <i>S. macrophylla</i> e <i>K. ivorensis</i> , nas condições do período chuvoso (PC) e período seco (PS) de Igarapé Açu-PA, em 2007.	
<b>Tabela 8</b>	Teores de aminoácidos solúveis totais (AST) e Prolina em folhas de <i>S. macrophylla</i> e <i>K. ivorensis</i> submetidas a quatro doses de KCl nas condições edafoclimáticas de Igarapé Açu-PA, em 2007.	62
<b>Tabela 9</b>	Teores de nitrogênio, fósforo e sódio nas folhas de <i>K. ivorensis</i> e <i>S. macrophylla</i> nas condições edafoclimáticas de Igarapé Açu-PA, em 2007.	65
<b>Tabela 10</b>	Teores de potássio, cálcio e magnésio nas folhas de <i>K. ivorensis</i> (KI) e <i>S. macrophylla</i> (SM) submetidas a quatro doses de KCl nas condições edafoclimáticas de Igarapé Açu-PA, em 2007.	67
<b>Tabela 11</b>	Coeficiente de correlação de Pearson entre teor de potássio no solo (K solo), teor de potássio na planta (K planta), teor de Ca na planta (Ca planta) e teor de Mg na planta (Mg planta) em plantas de <i>K. ivorensis</i> e <i>S. macrophylla</i> submetidas a quatro doses de KCl nas condições edafoclimáticas de Igarapé Açu-PA, em 2007.	69
<b>Tabela 12</b>	Teores médios de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) e pH do solo submetido a quatro doses de KCl nas condições edafoclimáticas de Igarapé Açu-PA, em 2007.	70
<b>Tabela 13</b>	Coeficiente de correlação de Pearson entre teor de potássio no solo (K solo), teor de potássio na folha (K planta), teor de Ca na folha (Ca folha) e teor de Mg na folha (Mg folha) em plantas de <i>K. ivorensis</i> e <i>S. macrophylla</i> submetidas a quatro doses de KCl, nas condições edafoclimáticas de Igarapé Açu-PA.	73

**RESUMO:** O mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King) e o mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.), entre outras espécies florestais, vem sendo amplamente utilizados na região amazônica em associações silvipastoris, agroflorestais ou mesmo em plantios homogêneos visando à exportação de madeira. Grande parte das plantações que utiliza essas espécies situa-se em regiões sujeitas à deficiência hídrica decorrente da má distribuição de chuvas, sendo comum a ocorrência de períodos secos com aproximadamente seis meses de pluviosidade abaixo de 100 mm. Nessas condições, as plantas recém-instaladas no campo podem passar por deficiência hídrica acentuada e serem submetidas à grande perda de água. O presente trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento ecofisiológico, químico, bioquímico e crescimento vegetativo de plantas jovens de mogno brasileiro e de mogno africano submetidas a quatro doses de KCl nas condições ambientais do período chuvoso e seco de Igarapé Açu-Pará, Amazônia Oriental. As espécies foram cultivadas em Latossolo Amarelo textura média, em delineamento experimental blocos ao acaso com parcelas divididas, com quatro repetições. Foram mensuradas as seguintes variáveis: (i) ambientais: radiação fotossinteticamente ativa (RFA), umidade relativa do ar (UR), temperatura do ar ( $T_{ar}$ ) e déficit de pressão de vapor entre a folha e a atmosfera ( $DPV_{FA}$ ); (ii) biofísicas: temperatura foliar ( $T_{fol}$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), transpiração ( $E$ ), conteúdo relativo de água (CRA) e potencial hídrico foliar ( $\Psi_{fol}$ ); (iii) morfológicas: altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF) e (iv) bioquímicas: teores foliares de clorofila a (cla), clorofila b (clb), clorofila a+b (cla+b), carotenóides, carboidratos solúveis totais (CST), sacarose, prolina, aminoácidos solúveis totais (AST), amido, nitrato, N, P, K, Ca, Mg e Na. As variações mensais em  $g_s$  e  $E$ , bem como as variações ao longo do dia em  $g_s$ ,  $E$ , CRA e  $\Psi_{fol}$  ocorreram independentemente dos tratamentos. Porém, foi observado que o período seco promoveu decréscimos expressivos em todas as variáveis fisiológicas analisadas em relação às plantas no período chuvoso. Para as plantas sob déficit hídrico, a  $g_s$  e  $E$  foram mais bem correlacionadas às variações na UR e  $T_{fol}$ , enquanto para as plantas no período chuvoso, variações em  $g_s$  e  $E$  foram melhor explicadas pelas variações em RFA e  $DPV_{FA}$ . No período chuvoso, os valores de  $E$  e  $g_s$  cresceram desde as primeiras horas da manhã até ao meio-dia, quando passaram a diminuir durante a tarde; mas no período seco, decresceram com as horas do dia, atingindo valores praticamente nulos a partir do meio-dia. Os compostos bioquímicos relacionados ao ajuste osmótico foram substancialmente incrementados sob condições de seca; *K. ivorensis* apresentou maiores teores foliares de prolina e AST, enquanto *S. macrophylla* apresentou maiores teores de sacarose e CST; somente os teores de prolina e AST foram significativamente aumentados pelas doses de KCl, no período seco. Nesse período seco, os teores de Clb, cl(a+b) e carotenóides foram significativamente maiores em *Khaya ivorensis* que em *Swietenia macrophylla*, mas o teor de clorofila a foi maior em *K. ivorensis*, independentemente do período climático. Foi observado que *Khaya ivorensis* absorveu significativamente mais N, P, K e menos Na que *Swietenia macrophylla*, mas teores elevados de K no solo reduziram significativamente a concentração foliar de Ca e Mg em ambas as espécies. O déficit hídrico ocorrido no primeiro ano da implantação do experimento reduziu  $E$  em 80% e  $g_s$  em 90%; promoveu a paralisação do crescimento das plantas em altura e em diâmetro e reduziu em 50% o número de folhas de ambas as espécies. Os dados indicam que, *K. ivorensis* foi mais tolerante à seca, nas condições experimentais, que *S. macrophylla*.

**Palavras-chave:** Mogno, *Swietenia macrophylla*, *Khaya ivorensis*, déficit hídrico, ecofisiologia, trocas gasosas, ajustamento osmótico, potássio.

**ABSTRACT:** The Brazilian mahogany (*Swietenia macrophylla* King) and African mahogany (*Khaya ivorensis* A. Chev.) among other species, are widely used in the Amazon region in silvopastoral associations, agroforestry or even in homogeneous stands aiming at the export of timber. Much of the plantations that use these species are located in areas subject to water stress due to poor distribution of rainfall, and the usually dry periods approximately six months with rainfall below 100 mm. Under these conditions, plants recently installed in the field can go through severe water stress and may undergo large water loss. This study aimed to evaluate the ecophysiological behavior, chemical, biochemical and vegetative growth of young plants of Brazilian mahogany and African mahogany subjected to four doses of KCl in the environmental conditions of the rainy season and dry Igarapé Açu-Pará, Eastern Amazonia. The crops were cultivated in Oxisol, medium texture, in randomized blocks with split plots with four replications. The following variables were measured: (i) Environmental: photosynthetic active radiation (PAR), relative humidity (RH), air temperature (TA) and vapor pressure deficit between leaf and atmosphere (DPVL), (ii) biophysical: leaf temperature (TL), stomatal conductance ( $g_s$ ), transpiration ( $E$ ), relative water content (RWC) and leaf water potential ( $\Psi_L$ ), (iii) morphological: plant height (PH), stem diameter (SD) and leaf number (LN) and (iv) biochemical: contents of chlorophyll a (cla), chlorophyll b (clb), chlorophyll a+b (cla+b), carotenoids, total soluble carbohydrates (TSC), sucrose, proline, total soluble aminoacids (TSA), starch, nitrate, N, P, K, Ca, Mg and Na. The monthly changes in  $g_s$  and  $E$ , as well as variations throughout the day in  $g_s$ ,  $E$ , RWC and  $\Psi_L$  occurred regardless of treatment. However, it was observed that the dry period has promoted significant decreases in all physiological parameters measured in relation to plants in the rainy season. For plants under drought,  $g_s$  and  $E$  were better correlated to changes in RH and TL, while for the plants during the rainy season, variations in  $g_s$  and  $E$  were better explained by variations in PAR and DPVL. In the rainy season, the values of  $E$  and  $g_s$  grown since the early hours of the morning until noon, when they began to decline during the afternoon, but during the dry season, decreased with time of the day, reaching virtually nil from noon. The biochemical compounds related to osmotic adjustment were substantially increased under drought conditions; *K. ivorensis* had higher leaf contents of proline and AST, while *S. macrophylla* had high content of sucrose and CST; only the levels of proline and AST were significantly increased by doses of KCl in the dry period. In the dry period, the levels of Clb, cl (a + b) and carotenoids were significantly higher in *K. ivorensis* than that *S. macrophylla*, but the cla content was higher in *K. ivorensis*, regardless of the climatic period. It was observed that *K. ivorensis* absorbed significantly more N, P and K in less than *S. macrophylla*, but high levels of potassium significantly reduced the foliar concentration of Ca and Mg in both species. The water deficit in the first year of implementation of the experiment  $E$  was reduced by 80% and  $g_s$  by 90%, promoted the stoppage of plant growth in PH and SD, and reduced by 50% the LN of both species. The data indicate that *K. ivorensis* was more tolerant to drought conditions experimental than *S. macrophylla*.

**Keywords:** Mahogany, *Swietenia macrophylla*, *Khaya ivorensis*, drought stress, ecophysiology, gas exchange, osmotic adjustment, potassium.



## 1 INTRODUÇÃO

O mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*, King) por seu alto valor comercial e grande aceitação no mercado internacional, já desapareceu de grandes áreas da Amazônia brasileira, existindo apenas em regiões de difícil acesso e em áreas protegidas - que são sistematicamente invadidas por madeireiros.

Embora seja muito difícil mensurar a real intensidade da exploração do mogno devido à grande ilegalidade no setor madeireiro, estima-se que 5,7 milhões de metros cúbicos de mogno serrado foram exportados pelo Brasil entre 1971 e 2001. Num cálculo rápido, isso significa que cerca de 2 milhões de árvores de mogno foram abatidas, nesse período (GROGAN, 2001).

Como o mogno ocorre de forma muito esparsa na Amazônia (média de 4 planta/ha), madeireiros abrem estradas de centenas de quilômetros na mata e que depois são utilizadas por fazendeiros que queimam a vegetação para formar pastos. Deste modo, as conseqüências diretas da intensa exploração ultrapassam a ameaça ao próprio mogno para afetar grandes áreas da floresta amazônica.

O mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.), originário da costa ocidental africana (Nigéria, Camarões, Guiné Espanhola, Gabão, Congo e Angola), ocorre desde 0 (zero) a 450 metros de altitude, normalmente em vales úmidos, suportando inclusive inundações durante o período das chuvas. Entretanto é muito sensível ao período de estiagem. É uma espécie que tem sido preferida pelos reflorestadores do Estado do Pará, devido não somente ao elevado valor econômico que representa no comércio internacional, mas por ser resistente a *Hypsipyla grandella*, a mais importante praga do mogno brasileiro, e também por apresentar crescimento vegetativo relativamente rápido, promovendo a recuperação de áreas alteradas (FALESI; BAENA, 1999).

Tanto o mogno brasileiro quanto o africano vem sendo amplamente utilizados na região amazônica em associações silvipastoris, agroflorestais ou em plantios homogêneos, visando à exportação de madeira. Grande parte das plantações que utiliza essas espécies situa-se em regiões sujeitas à deficiência hídrica decorrente da má distribuição de chuvas, sendo comum a ocorrência de estações secas com aproximadamente seis meses de pluviosidade abaixo de 100 mm. Nessas condições, as plantas recém-instaladas no campo podem passar por deficiência

hídrica acentuada e serem submetidas à grande perda de água.

O potássio é caracterizado pela alta mobilidade na planta tanto dentro da célula quanto nos tecidos, bem como é transportado à longa distância via xilema e floema. É o cátion mais abundante no citoplasma e juntamente com os ânions acompanhantes oferecem maior contribuição para o potencial osmótico das células e tecidos das plantas (MARSCHNER, 1995). O principal papel do potássio é de atuar como ativador de numerosas enzimas, entre elas: ATPase, succinil CoA sintetase e piruvato quinase. Parece também desempenhar papel importante na síntese de proteínas e na manutenção de sua estabilidade, na permeabilidade da membrana, no controle do pH, (MALAVOLTA ; VITTI ; OLIVEIRA, 1997), no mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos (COLL et al., 1992; EPSTEIN; BLOOM, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2009) e no transporte de açúcares no floema (COLL et al., 1992; TAIZ; ZEIGER, 2009).

O efeito do potássio na atividade das enzimas está relacionado à mudança na conformação das moléculas, a qual aumenta a exposição dos sítios ativos para ligação com o substrato. É possível que uma das razões para as altas exigências de potássio seja a necessidade de concentrações elevadas no citoplasma, principalmente para garantir o ótimo da atividade enzimática (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Outro efeito atribuído ao potássio é o aumento da resistência das plantas a secas e geadas (SILVEIRA; MALAVOLTA, 2000). O acúmulo de potássio nos vasos do xilema reduz o potencial osmótico da seiva traqueana e com isso reduz o seu potencial de água, aumenta assim, a absorção de água pelas raízes das plantas, sobretudo em ambientes com deficiência hídrica. Elevadas concentrações de potássio nas células do mesofilo também promovem redução no potencial osmótico. Isso tem também efeito benéfico no consumo de água, visto que o baixo potencial osmótico melhora a retenção de água. Essa seria uma das razões pelas quais as plantas bem supridas de potássio necessitam de menor quantidade de água em relação à síntese de matéria orgânica (MENGEL; KIRKBAY, 1982). Assim, plantas bem nutrida com potássio tem melhores condições de sobreviver em ambientes com déficit hídrico acentuado.

Dados experimentais com mogno na região amazônica, envolvendo crescimento e nutrição mineral, em condições de campo, são quase inexistentes. Entretanto, os teores considerados adequados para espécies florestais podem

nortear os estudos nutricionais para essa espécie de grande importância.

O presente trabalho objetiva avaliar o comportamento ecofisiológico, químico, bioquímico e crescimento vegetativo de plantas jovens de mogno brasileiro e africano, submetidas a doses crescentes de cloreto de potássio em Latossolo Amarelo textura média, em Igarapé Açu-PA, Amazônia Oriental.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A ÁGUA NO SOLO

A água é um dos principais constituintes do solo, ocupando, juntamente com o ar, todo o espaço poroso existente. Na ausência de água, não é possível a vida animal ou vegetal. É ainda a água que governa grande parte das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Para um bom desenvolvimento vegetal, é indispensável à presença de uma suficiente quantidade de água no solo, pois esta funciona como solvente de nutrientes do solo e como meio de transporte de nutrientes para a planta (FERREIRA, 1992; SALISBURY; ROSS, 1992; TAIZ; ZEIGER, 2009).

Devido à extraordinária capacidade de solubilização da água, a solução do solo contém, em concentrações variáveis, os elementos químicos encontrados no solo. É Sabido que a solução do solo é dinâmica, sofrendo contínuas flutuações em quantidades de íons que nela se encontram e estão, permanentemente, passando para as partículas coloidais e vice-versa. Como resultado desse fenômeno, a concentração em torno das partículas do solo torna-se desigual; as moléculas de água mais próximas da partícula apresentam-se com maior concentração de sais do que as que se encontram distantes (KIEHL, 1985).

Da água que chega a superfície do solo pelas chuvas, avalia-se que metade escorre pela superfície e metade pode ser armazenada nos horizontes superficiais pelo efeito da capilaridade (água capilar), ou desloca-se para as camadas mais profundas pela ação da gravidade (água gravitacional), formando o lençol freático. As raízes são supridas pela água retida pelas forças capilares. Porém, nem toda água capilar está disponível às plantas, pois, quando o teor de umidade do solo alcançar valores baixos, as raízes não conseguirão absorver a água capilar, a qual estará presa por elevadas forças de retenção (KIEHL, 1985).

A quantidade de água que pode ser armazenada por capilaridade na região das raízes depende, principalmente, das características do solo e da profundidade. Há uma correlação positiva entre o conteúdo de matéria orgânica do solo e o armazenamento de água. Solos argilosos, por conterem mais colóides que os arenosos, possuem maior capacidade de retenção de água; quanto maior o teor de

matéria orgânica, maior será a sua umidade equivalente (KIEHL, 1985).

Nas condições naturais, o potencial hídrico do solo varia aproximadamente de 0 (zero) MPa quando o solo está saturado, até valores próximos ao coeficiente higroscópico que está associado ao ar seco (cerca de -3,1 MPa). A água retida no solo, em qualquer potencial hídrico, será removida desde que se estabeleça um gradiente energético favorável ao seu deslocamento. Quando o potencial hídrico de uma raiz alcança valores mais baixos do que aqueles verificados no solo com o qual está em contato, se inicia a absorção e o transporte de água para seu interior. Entretanto, à medida que a umidade do solo vai diminuindo, torna-se cada vez mais difícil a remoção das moléculas de água e, evidentemente, a continuação do processo de absorção de água dependerá da capacidade da raiz de reduzir o seu potencial hídrico a valores mais baixos do que aqueles existentes no solo (FERREIRA, 1992, TAIZ; ZEIGER, 2009).

Em solos secos, a absorção de água pela planta é, consideravelmente, reduzida pelo decréscimo da diferença do potencial hídrico entre as raízes e o solo e, também, pelo aumento da resistência ao movimento da água nesse solo em direção às raízes (KOZLOWSKI, 1960; KRAMER; PALLARDY, 1991). A baixa disponibilidade de água no solo ou a presença de grande demanda hídrica atmosférica fazem com que a planta se utilize do fechamento dos estômatos como principal mecanismo de controle de perda de água, e esse fechamento dá início a uma série de processos potencialmente prejudiciais, através do aumento da resistência à difusão do gás carbônico (IZQUIERDO; HOSFIELD, 1981; FISCUS; WUILLSHLEGER; DUKE, 1984).

A água contida no solo, o *status* de água da planta, a umidade relativa do ar e a temperatura, isoladamente, ou em conjunto, afetam as plantas de uma forma direta ou indireta e, na maioria das vezes, atuam em combinação com outros fatores ambientais, tais como: radiação, vento, composição química do solo, pH, etc. Contudo, para alguns autores, a água é um dos fatores mais importantes do meio ambiente que afeta o crescimento, a produção e a sobrevivência das plantas (FERREIRA, 1992 ; SALISBURY; ROSS, 1992).

## 2.2 IMPORTÂNCIAS DA ÁGUA PARA OS VEGETAIS

De todos os recursos que a planta necessita para crescer e funcionar, a água é o mais abundante, e ao mesmo tempo, o mais limitante para a produtividade agrícola, visto que, em muitas regiões este recurso é tão abundante, podendo-se fazer uso irrestrito dele, já em outras é muito escasso.

Especificamente, havia dúvidas se o movimento de água para dentro das células limitava-se à difusão de moléculas de água por meio da dupla camada lipídica da membrana plasmática, ou se também envolvia difusão pelos poros protéicos. Essa incerteza foi desfeita com a descoberta recente das aquaporinas, que são proteínas integrais da membrana (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Tal mecanismo pode ser especialmente importante durante períodos de déficit de água nos tecidos e no solo, uma vez que a água se difunde mais rapidamente através desses canais do que pela camada lipídica, facilitando o movimento de água para dentro das células vegetais (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Para as atividades bioquímicas do protoplasma não é importante a quantidade de água nele existente, mas sim o estado termodinâmico da água. Pois a disponibilidade de água é expressa como o potencial hídrico de um sistema aquoso (células, compartimentos celulares e solução externa), tendo por referência o potencial da água pura, isto significa que quanto menor o potencial hídrico do sistema considerado, menor será também a disponibilidade de água nesse sistema (LARCHER, 2004).

A perda de água das plantas para o meio externo dá-se pela transpiração, através dos estômatos. Estes atuam como válvulas, regulando a passagem de água para a atmosfera, exercendo um papel fundamental no resfriamento foliar, bem como, na regulação das trocas gasosas entre plantas e meio ambiente (KERBAUY, 2004; CASTRO; KLUGE; PERES, 2005).

A primeira linha de defesa ao déficit hídrico é o fechamento estomático, uma vez que a resistência difusiva ao vapor de água reduz a transpiração. No entanto, se essa situação se estender acarretará prejuízo à capacidade fotossintética, uma vez que o suprimento de CO<sub>2</sub> se torna reduzido (NOGUEIRA et al., 2002), sobretudo no rendimento da produção de matéria seca (LARCHER, 2004).

A transpiração é um processo que envolve a absorção de água pelas raízes, o transporte através dos vasos condutores e a saída para o meio externo,

primariamente através da abertura estomática (BLAD, 1983; TAIZ; ZEIGER, 2009). Este processo não somente influencia diretamente o potencial de água da folha, como pode determinar o consumo de água do solo. A taxa de perda de vapor de água das folhas depende do gradiente de pressão de vapor e da resistência à difusão entre a superfície da folha e da camada limítrofe do ar com a mesma (THIEN, 1983; TAIZ; ZEIGER, 2009).

A disponibilidade de água para as plantas é de extrema importância, pois dela dependem todas as atividades metabólicas das células. Nas células fisiologicamente ativas, o teor de água se eleva, geralmente, a valores acima de 85%. Uma redução do conteúdo de água em torno de 20% a 25% do valor máximo da hidratação, geralmente induz a paralisação de importantes processos metabólicos (FERREIRA, 1992; CASTRO; KLUGE; PERES, 2005).

A água, juntamente com as proteínas, é um dos constituintes protoplasmáticos mais importantes para as células vivas. Devido às proteínas possuírem grupos polares e não polares, as mesmas apresentam diferentes níveis de interação com a água. Assim, a redução do teor de água no protoplasma afeta as suas propriedades estruturais, elásticas e de coesão (KRAMER, 1963). A água funciona como reagente, participando de importantes processos vitais, incluindo a fotossíntese e as reações hidrolíticas; serve de solvente para os gases, elementos minerais e outros solutos, e mantém a turgescência que é essencial para os processos de crescimento e desenvolvimento, assim como, para definir formas das partes vegetais (FERREIRA, 1992; CASTRO; KLUGE; PERES, 2005).

Diversos autores têm pesquisado os efeitos do déficit hídrico sobre as trocas gasosas em espécies perenes (NOGUEIRA et al., 2001, 2002) e na produção de matéria seca (BARBOSA; SILVA et al., 2004; FIGUEIRÔA; BARBOSA; SIMABUKURO, 2004).

### 2.3 CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA E TRANSPIRAÇÃO

Estômatos são pequenas estruturas epidérmicas existentes principalmente nas folhas, formadas por duas células estomáticas (células guardas) que delimitam uma fenda (ostíolo), duas ou mais células anexas adjacentes e uma câmara subestomática, a qual está em conexão com os espaços intercelulares. Através dos

estômatos há uma comunicação direta do interior da planta com o ambiente (KERBAUY, 2004; TAIZ; ZEIGER, 2009).

A condutância foliar é composta em pequena parte pela condutância cuticular da epiderme e, quando os estômatos estão abertos, pela condutância estomática, que é controlada pelas células guardas dos estômatos. Assim, a condutância é proporcional ao número e tamanho dos estômatos e também ao diâmetro da abertura estomática; e depende da interação de um grande número de fatores ambientais e endógenos, característicos de cada espécie (TURNER, 1991; LOPES; WANDELLI, 2003).

O déficit hídrico em plantas inicia um complexo de respostas, começando com a percepção do estresse, o qual desencadeia uma cascata de eventos moleculares que é finalizada em vários níveis de respostas fisiológicas, metabólicas e de desenvolvimento (BRAY, 1993). Em geral, o primeiro sintoma resultante da seca é a paralisação do crescimento, uma vez que a água é de fundamental importância no processo de expansão celular que se dá durante a fase de diferenciação das novas células formadas (KRAMER; BOYER, 1995; TAIZ; ZEIGER, 2009). Alterações na fotossíntese, no balanço hídrico da planta, na absorção de nutrientes, dentre outras, também são observadas (KRAMER, 1983; SMIRNOFF, 1995).

Estudos realizados com *Tectona grandis* e *Gmelina arborea*, durante a estação de seca na Nigéria, mostraram que, no início da manhã, a condutância estomática de ambas as espécies aumenta rapidamente, decrescendo após o meio dia. A variação na abertura dos estômatos durante o dia, devido à radiação solar e ao déficit de pressão de vapor da atmosfera, foi a causa das alterações na condutância estomática (WHITEHEAD, 1980). Magalhães Filho et al. (2008) observaram que a redução do potencial da água nas plantas de laranja Valência sob estresse hídrico contribuiu para a redução da fotossíntese, condutância estomática, transpiração e eficiência de carboxilação. Verificaram também que a condutância estomática foi mais responsiva à diminuição da umidade do solo do que o potencial hídrico da folha. Esse processo também foi evidenciado em outras espécies (DAVIES et al., 1986; TARDIEU et al., 1992; NUNES, 2000).

Em resposta ao estresse hídrico, a transpiração é regulada pelas plantas através do decréscimo da condutância estomática. Assim que o estresse hídrico se manifesta nas folhas, os estômatos se fecham para conservar a água, isso ocorre para evitar o prejuízo causado pela desidratação das células e tecidos. No entanto,



esse evento reduz a capacidade fotossintética das plantas pela redução na absorção de  $\text{CO}_2$  (SPERRY, 2002; MOONEY; EHLERINGER, 1997; CASTRO; KLUGE; PERES, 2005).

Considerando-se que na transpiração o movimento de vapor de água entre a folha e a atmosfera se dá a custa de um gradiente de concentração de vapor de água entre esses meios, tendo obrigatoriamente que ser maior nos espaços intercelulares, pode-se inferir que a transpiração não é governada apenas pelo grau de abertura estomática. Isto porque, mesmo com os estômatos abertos, se a concentração de vapor de água na folha for inferior a da atmosfera circundante, a transpiração é nula ou extremamente baixa. Esse fenômeno pode ser observado quando o ar encontra-se saturado, no qual geralmente a temperatura do ar é maior que a da folha (KRAMER; BOYER, 1995).

Diversas variáveis ambientais, tais como temperatura e umidade relativa do ar, radiação incidente, temperatura da folha e déficit de pressão de vapor (DPV) influenciam sobremaneira as taxas de condutância estomática logo, influenciam a transpiração. O déficit de pressão de vapor de água entre folha e atmosfera é calculado com base na temperatura e umidade relativa do ar (UR) além da temperatura da folha (LANDSBERG, 1986). Ao longo de um dia tipicamente claro nas regiões tropicais, a radiação tem picos mínimos nas primeiras horas do dia e ao final da tarde e pico máximo por volta do meio-dia, podendo ser representada por uma função do segundo grau (parábola). Esse aumento da radiação traduz-se comumente em aumento na temperatura do ar e da folha e diminuição da UR, resultando, em última análise, em incremento no DPV, que, em geral também pode ser descrito por uma função de segundo grau, com máximo entre 12:00 h e 14:00 h.

Para a maioria das espécies, o aumento do DPV resulta em reduções lineares na condutância estomática ( $g_s$ ). PINHEIRO et al. (2005) observaram, em plantas de *Coffea canephora* sob constante irrigação, redução de 50% em  $g_s$  quando o DPV aumentou de 1,5 kPa para 3,0 kPa. Em amendoeiras, Romero e Botía (2006) mostraram que plantas irrigadas apresentaram forte correlação entre DPV e o potencial hídrico da folha e/ou teor relativo de água e que a  $g_s$  foi fortemente reduzida com o incremento do DPV, apresentando como valor limite para o fechamento estomático um DPV da ordem de 2 kPa. Essa relação foi também mostrada sob condição de seca. Entretanto, para algumas espécies como a oliveira (*Olea europaea*), resultados contrastantes a cerca das correlações entre  $g_s$  e DPV

indicam que nem sempre o aumento da demanda evaporativa implica em diminuição de  $g_s$  (FERNANDEZ et al., 1997; GIORIO; SORRENTINO; DIANDRIA, 1999). Nesse caso, o fechamento estomático parece estar mais associado às alterações no potencial hídrico do solo e a fatores endógenos à planta (sinais químicos) que às variações no DPV (GIORIO; SORRENTINO; DIANDRIA, 1999; MORIANA; VILLALOBOS; FERERES, 2002; TOGNETTI et al., 2004).

O potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) é uma grandeza termodinâmica que indica a quantidade de água livre em um tecido para a realização de trabalho químico. Tal grandeza depende de uma série de componentes, destacando-se a componente osmótica ou potencial osmótico ( $\Psi_s$ ) a qual depende da concentração de solutos do meio. Assim, em período seco, quando um solo perde água consideravelmente, o  $\Psi_s$  é fortemente reduzido até que a água seja repostada. Ademais, com a contínua perda de água do solo, o  $\Psi_w$  passa também a ser governado pela sua componente mátrica ( $\Psi_m$ ), visto que a água disponível para as raízes passa a ficar mais fortemente retida a matriz coloidal do solo (KRAMER; BOYER, 1995). Isto pode ser observado em plantas de café conilon submetidas a déficit hídrico, em que variações muito pequenas no potencial hídrico de antemã induziram rápido decréscimo na  $g_s$ , decréscimo este de caráter logarítmico (PINHEIRO, et al., 2005). O mesmo comportamento foi observado em árvores de Kiwi (GUCCI et al., 1996), acerola (NOGUEIRA et al., 2001) e em várias espécies arbóreas de cerrado (PEREZ; MORAES, 1991).

## 2.4 AJUSTAMENTO OSMÓTICOS

A avaliação dos efeitos do estresse hídrico no crescimento e produtividade das plantas requer estudos de processos como fotossíntese, respiração, metabolismo do nitrogênio, translocação e níveis de hormônios, acompanhados por medições quantitativas do estresse de água na planta. Para Capell e Christou (2004) as duas estratégias gerais para a engenharia metabólica da tolerância ao estresse hídrico são: aumento da produção de compostos específicos desejados, tais como aminoácidos, aminos quaternárias, açúcares e alcoóis; e redução dos níveis de compostos indesejados como os radicais livres.

Uma das mais bem documentadas respostas fisiológicas ao déficit hídrico em

plantas é a habilidade de algumas espécies de ajustar osmoticamente suas células. Durante a seca, plantas superiores acumulam prolina ativamente (HANDA et al., 1986; COSTA, 1999; ASHRAF; FOOLAD, 2007; CORDEIRO et al., 2009), aminoácidos solúveis (COSTA, 1999; CARVALHO, 2005), açúcares solúveis (CHAVES FILHO; SERAPHIN, 2001; OLIVEIRA NETO, 2008), ácidos orgânicos e íons no citosol (CARVALHO, 2005; CORDEIRO et al., 2009) para diminuir o potencial osmótico e, conseqüentemente, manter o potencial hídrico e o turgor de suas células próximo do nível ótimo (BRAY, 1993, 1997). Quando o turgor é mantido, processos como condutância estomática, taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> e expansão dos tecidos são total ou parcialmente mantidos (LUDLOW, 1980; CASAGRANDE et al., 2001). Na ausência de acumulação de solutos, o potencial osmótico é inversamente relacionado ao volume osmótico. Reduções no potencial osmótico ocorrem pelo aumento na concentração de solutos presentes na célula túrgida. O ajuste osmótico, portanto, ocorrerá somente se ocorrer a acumulação ativa de solutos, propiciando o aumento na capacidade de tolerar períodos curtos de seca.

A capacidade de aumentar a tolerância à seca, ocasionada pelo ajuste osmótico em algumas espécies, tem sido relacionada à diminuição do potencial osmótico e à retenção de água dela decorrente (JAMAUX; STEINMETZ; BELHASSEN, 1997). Existe considerável variação, entre espécies vegetais, na capacidade de ajuste osmótico e isso deve ser considerada ao se medir a habilidade da planta em suportar a seca.

Sorgo e algodão apresentam alta capacidade de ajuste osmótico; girassol apresenta ajuste mais moderado, enquanto trigo e soja normalmente apresentam baixa capacidade de ajuste (OOSTERHUIS; WULLSCHLEGER, 1988). A importância e contribuição dos solutos envolvidos no ajuste osmótico também variam com a espécie (MORGAN, 1984; CARVALHO, 2005). Em forrageiras tropicais, o potássio e o cloro foram apontados como sendo os solutos que mais contribuem (FORD; WILSON, 1981), enquanto na soja, os principais solutos acumulados foram aminoácidos, glicose, frutose e sacarose (KRAMER; BOYER, 1995).

Em plantas com déficit hídrico, o acúmulo de açúcares livres pode ser decorrente da restrição à síntese de proteínas e da hidrólise das reservas de amido, bem como de distúrbios causados pela deficiência de água nos tecidos do floema, reduzindo a sua translocação para outros órgãos. Esses compostos têm sido

relatados como agentes protetores durante a desidratação celular (LEPRINCE; HENDRY; MCKERSIE, 1993; BOYER, 1996) ou como mantenedores da turgescência, garantindo a expansão celular e o crescimento (NILSEN; ORCUTT, 1996). Durante déficit hídrico moderado, o potencial hídrico pode ser mantido pelo ajuste osmótico e os açúcares podem servir como solutos compatíveis baixando o potencial. Em plantas sensíveis à seca, como espinafre e milho, a síntese de sacarose aumenta durante o déficit hídrico (WILLIAMS; LEOPOLD, 1989; INGRAM; BARTELS, 1996; BIANCHI, et al., 2005).

Apesar de ser considerado um importante mecanismo de tolerância ao déficit hídrico, o ajuste osmótico pode não aumentar a produtividade das plantas, mas possibilita a continuação do desenvolvimento em condições de estresse (SERRAJ; SINCLAIR, 2002).

## 2.5 O POTÁSSIO

### 2.5.1 Função na planta

O potássio é caracterizado pela alta mobilidade na planta em todos os níveis: dentro da célula, dentro dos tecidos, e no transporte a longa distância via xilema e floema. É o cátion mais abundante no citoplasma e juntamente com os ânions acompanhantes têm a maior contribuição para o potencial osmótico das células e tecidos das plantas (MARSCHNER, 1995). Ele não faz parte de nenhum composto orgânico, não desempenhando função estrutural na planta. Entretanto, um grande número de enzimas é dependente ou ativada por esse nutriente, destacando-se as sintetases, oxiredutases, desidrogenases, transferases, quinases e aldolases (MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; MENGEL; KIRKBY, 2001).

O potássio ainda está envolvido na síntese de proteínas: plantas com baixos teores de potássio apresentam baixo teor protéico, com acúmulo de compostos de baixo peso molecular como aminoácidos, amidas, aminas e nitratos. Além disso, a deficiência de potássio provoca também o aumento do teor de carboidratos solúveis, decréscimo no conteúdo de amido e acúmulo de nitrogênio solúvel.

O potássio atua no metabolismo (ativação da sintetase do amido, sintetase

fosfato sacarose e outras enzimas) e transporte de carboidratos (MALAVOLTA, 1980; MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; MENGEL; KIRKBY, 2001). Normalmente, folhas de plantas deficientes em potássio apresentam acúmulo de açúcares (glicose, frutose, xilose e outros) e redução de carboidratos de maior cadeia (amido e sacarose), como consequência da menor atividade da enzima sintetase da sacarose fosfato (EVANS; SORGER, 1966).

Existe uma relação inversa entre a concentração de potássio no tecido foliar e o conteúdo de açúcares, sendo que o papel do potássio estaria ligado ao transporte dos fotoassimilados das folhas para os órgãos de armazenamento, principalmente durante o transporte ativo, através da membrana citoplasmática para o floema, e no fluxo passivo para os tubos crivosos. Em relação ao primeiro processo, maiores concentrações de potássio estimulam a produção de ATP, o qual é necessário para o transporte de fotoassimilados nos tubos crivosos. No segundo processo, a função do K seria manter o pH elevado, facilitando com isso, o transporte dos açúcares (MALAVOLTA; CROCOMO, 1982; MARSCHNER, 1995).

Silveira e Malavolta (2000) observaram queda na concentração de açúcares nas folhas de eucalipto da ordem de 25%, quando comparou as plantas cultivadas na ausência e na presença de dose mais alta de potássio ( $526,5 \text{ mg L}^{-1}$ ).

Um incremento dos teores foliares de potássio com as horas do dia foi observado por Cordeiro (2007), em plantas jovens de mogno brasileiro (*S. macrophylla*) submetidas a 20 dias de estresse hídrico. Forte correlação entre condutividade estomática e K também foi observada pelo autor, sugerindo esse nutriente, ter importante papel na abertura estomática das plantas de mogno. Carvalho (2005), trabalhando com plantas jovens de paricá (*S. Amazonicum*) e guapuruvu (*S. parahyba*), submetidas a dois ciclos diferentes de deficiência hídrica, observou incrementos significativos nos teores de K nas folhas, sugerindo estar o potássio envolvido com o controle osmótico das plantas estudadas.

As poliaminas têm grande variedade de efeitos nas plantas; são essenciais ao crescimento e desenvolvimento estando envolvidas na divisão celular e morfogênese; interagem com os resíduos de fósforo alterando a permeabilidade das membranas e a função enzimática (MAKI et al., 1991; KAUR-SAWHNEY; GALSTON, 1991; DAVIES, 2005). Plantas deficientes em potássio apresentam aumento na intensidade da biossíntese da diamina putrescina (SILVEIRA; MALAVOLTA; BROETTO, 2001). Então na deficiência de potássio, o déficit de cátion

é balanceado pela putrescina. Como a falta desse nutriente altera o balanço interno entre cátions e ânions inorgânicos, espera-se com isso um aumento da acidez do suco celular, o que acaba não correndo, uma vez que a diamina operaria como um mecanismo para manter o pH a um valor fisiologicamente adequado. Portanto, em condição de bom suprimento de potássio, ocorre inibição das enzimas que catalisam a síntese da putrescina, mostrando a função do potássio na manutenção do pH citoplasmático e sua relação direta ou indireta com a síntese de enzimas (COLEMAN; RICHARDS, 1956).

O potássio atua no controle osmótico das células. Segundo Mengel e Kirkby (1982) e Malavolta; Vitti e Oliveira (1997) plantas deficientes em potássio apresentam menor turgor, pequena expansão celular, maior potencial osmótico, abertura e fechamento dos estômatos de forma irregular. Por outro lado, plantas bem supridas de K são mais tolerantes as secas e geadas, em razão da maior retenção de água.

A expansão celular é resultado do acúmulo de potássio nas células, que é requerido para estabilizar o pH do citoplasma e aumentar o potencial osmótico do vacúolo (MARSCHNER, 1995; TAIZ; GEIZER, 2009).

O potássio associado a um anion ( $\text{Cl}^-$  ou malato<sup>-2</sup>) é responsável pela mudança de turgor nas células guardas durante a abertura e fechamento dos estômatos. O aumento da concentração de potássio nas células guardas diminui o potencial osmótico delas e resultam numa absorção de água das células adjacentes, com conseqüente aumento no turgor das células guardas, abrindo dessa forma os estômatos (TAIZ; GEIZER, 2009).

Estudando o efeito da nutrição potássica nas relações hídricas de diversas espécies de *Eucalyptus*, Teixeira et al. (1995) mostraram que o maior conteúdo de potássio em Latossolo foi importante para a manutenção do turgor das plantas. Em condições de estresse hídrico, sob fornecimento de potássio, a média da concentração relativa de água nas folhas das espécies de *Eucalyptus* foi de 81,7% contra somente 67,3% na ausência do elemento. Os autores mostraram ainda haver diferenças consideráveis entre as espécies de *Eucalyptus* quanto à eficiência de utilização da água. O maior conteúdo de potássio na solução nutritiva aumentou a eficiência de utilização de água de forma mais acentuada em *E. citriodora* e *E. camaldulensis*. Essas espécies foram menos eficientes que *E. tereticornis*, *E. saligna*, *E. urophylla* e *E. grandis* em baixo fornecimento de potássio, porém, mais

eficientes quando se aumentou o teor de potássio. Tanto *E. citriodora* quanto *E. camaldulensis* apresentaram aumento da transpiração quando supridas com baixo nível de potássio.

Dünisch et al (2002) estudaram a demanda de luz, água e nutrientes de três espécies de Meliaceae da Amazônia, de um a oito anos de idade, em condições naturais e em plantações, nos estados do Amazonas, Pará e Mato Grosso. Verificaram que a fotossíntese líquida de *S. macrophylla* e *C. odorata* dependeu fortemente de elevado teor de água e K do solo, enquanto a fotossíntese líquida de *C. guianensis* foi menos influenciada pelo teor de K e da água do solo; verificaram também que a absorção de água pelas três espécies diminuiu com a redução do teor de K do solo e que a absorção de K por *S. macrophylla* e *C. odorata* dependeu de um alto teor de água do solo, enquanto *C. guianensis* absorveu quantidades consideráveis de K também em solos secos.

O potássio está envolvido na fotossíntese. Na carência de K, verificam-se redução na taxa fotossintética por unidade de área foliar e, também, maiores taxas de respiração. A combinação desses fatores pode reduzir as reservas de carboidratos da planta (PRETTY, 1982). Um suprimento inadequado de potássio também faz com que os estômatos não se abram regularmente, podendo ocorrer menor assimilação de CO<sub>2</sub> nos cloroplastos, diminuindo conseqüentemente a taxa fotossintética. O decréscimo da fotossíntese em condições de estresse hídrico é menor quando as plantas estão bem supridas de potássio (MARSCHNER, 1995).

O aumento do conteúdo de potássio nas folhas proporciona maior atividade da rubisco e maior taxa fotossintética devido a uma maior assimilação de CO<sub>2</sub> nos sítios catalíticos da enzima. Isso evidencia a participação do potássio na fotossíntese através da sua função na regulação enzimática (MARSCHNER, 1995).

### **2.5.2 Interação com o nutriente fósforo, cálcio e magnésio**

O potássio é absorvido como cátion monovalente (K<sup>+</sup>), presente na solução do solo. Essa forma está em equilíbrio com outra conhecida como trocável, que fica adsorvida aos colóides (orgânicos e minerais), devido à capacidade de troca catiônica desses minerais. Essas duas formas são consideradas disponíveis para as plantas, ou seja, são sujeitas à absorção (TANAKA; MASCARENHAS; BORKERT,

1993; EPSTEIN; BLOOM 2006).

Os efeitos interiônicos entre K, Ca e Mg ocorrem na forma de inibição competitiva, normalmente ao nível de membrana celular (EPSTEIN; BLOOM 2006). Segundo Malavolta (1980) esse processo ocorre quando dois elementos competem pelo mesmo sítio ativo do carregador. Um exemplo clássico é dado pelas altas doses de potássio no meio, inibindo a absorção de Ca e Mg, chegando muitas vezes, causar a deficiência desses dois nutrientes com queda de produção. Marschner (1995) também relata que cátions como o potássio podem atravessar a membrana plasmática com maior velocidade, diminuindo a absorção de cátions mais lentos como Ca e Mg.

A absorção preferencial do íon  $K^+$  ocorre por ser monovalente e de menor grau de hidratação quando comparado aos divalentes (KABATA; PENDIAS 1984). Schonau (1981), ao estudar o efeito da aplicação de fertilizantes sobre os teores foliares dos nutrientes em *E. grandis*, verificou que a aplicação de K reduzia os teores de Ca e não afetava os de Mg, enquanto a fertilização fosfatada e a aplicação de calcário diminuía os teores de K nas folhas.

Schmidt (1995) avaliou o crescimento e a absorção de K, Ca e Mg por mudas de *E. camaldulensis* e *E. grandis* em resposta à aplicação de K no solo (0, 30, 90, 180 e 270 mg  $kg^{-1}$ ) e a adição de corretivos com diferentes relações Ca/Mg. Verificou que a dose de K para obter 90% da produção máxima foi de 60,7 e 50,7 mg de K  $kg^{-1}$ , na presença de corretivo, para *E. camaldulensis* e *E. grandis*, respectivamente. Constatou ainda que com o aumento do nível de corretivo, maior quantidade de K foi necessária para manter o balanço catiônico e proporcionar maior produção de matéria seca.

Em *E. fatigata* com 3 anos de idade, Knight (1988) verificou correlações significativas e negativas entre a concentração de potássio e a de cálcio ( $r = -0,70$ ) e a de magnésio nas folhas ( $r = -0,84$ ).

Lima Junior (2005) avaliando o crescimento e a absorção de K, Ca e Mg por mudas de mogno (*S. macrophylla*) em resposta a adição de calcário, verificou que 3,2 t  $ha^{-1}$  (saturação de bases V = 60%) proporcionou os maiores teores de K (9,18 g  $kg^{-1}$ ) nas folhas, mas doses superiores de calcário, equivalentes a porcentagem de saturação em bases maiores que 60%, tenderam a diminuir os teores de K em todas as partes da planta. Silva et al. (2007) também constataram maior concentração de K em plantas jovens de mogno quando aplicaram 2,5 t  $ha^{-1}$  de calcário.



### 2.5.3 Teores na planta considerados adequados

Dados experimentais com mogno na região amazônica, envolvendo crescimento e nutrição mineral, são quase inexistentes. Entretanto, os teores considerados adequados para espécies florestais podem nortear os estudos nutricionais para essa espécie de grande importância.

Malavolta; Vitti e Oliveira (1997) citam os teores de macro nutrientes (Tabela 1), que em geral, são considerados adequados para essências florestais. Nota-se que existe grande variação nas concentrações em função das espécies.

Bellote e Ferreira (1993) obtiveram em *E. grandis*, cultivado no cerrado de São Paulo, correlações significativas entre potássio no solo e nas folhas e entre potássio e a altura das plantas. Herbert (1996) constatou que a relação foliar N/K e K/P nas folhas, considerada ótima para o crescimento do *E. grandis* foi de 3,5 e 5, respectivamente. Silveira; Malavolta e Broetto (2001) também citam que as maiores produtividades de *E. grandis*, com 2 anos de idade, na região de Lençóis Paulista/SP, estavam associadas às razões foliares de K/Ca na faixa de 1,3 a 1,8, sendo que para relações menores que 1,0, ocorriam quedas significativas na produtividade

**Tabela 1** - Teores de macronutrientes nas folhas de essências florestais: (\*) considerados adequados, segundo Malavolta, 1997; (\*\*) obtidos por outros autores.

Cultura	N	P	K	Ca	Mg
	-----g kg <sup>-1</sup> -----				
Araucária(*)	16 - 17	1,4 - 1,8	13 - 15	6,0 - 8,0	2,0 - 3,0
Eucalipto	14 - 16	1,0 - 1,2	10 - 14	8,0 - 12	4,0 - 5,0
Pinus	13 - 13	1,4 - 1,6	10 - 12	3,0 - 5,0	1,5 - 2,0
Seringueira	26 - 35	1,6 - 2,3	10 - 14	7,6 - 8,2	1,7 - 2,4
-----					
Cumaru (**) <sup>1</sup>	18,8	1,5	6,5	3,2	1,2
Mogno brasileiro <sup>2</sup>	16,3	1,8	9,2	3,2	2,3
Mogno brasileiro <sup>3</sup>	18,1	1,8	5,5	7,9	1,1
Mogno africano <sup>4</sup>	18,1	1,8	13,6	19,8	5,1
Mogno africano <sup>5</sup>	16,1	1,3	10,6	9,9	2,7

<sup>1</sup> e <sup>3</sup> - Segundo Gonçalves et al. (2005), plantas com 3 anos de idade; <sup>2</sup> - Segundo Lima Júnior (2005), plantas com 6 meses de idade; <sup>4</sup> - Segundo Falesi e Baena (1999), plantas com 1 ano de idade; <sup>5</sup> - Segundo Sharma (1983), plantas com 2 anos de idade.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

O experimento foi realizado no campus da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), localizado no município de Igarapé Açu-PA, (01° 11' S e 47° 35' W), distante 110 km da cidade de Belém-PA, no período de março de 2006 a novembro de 2007.

A área experimental era originalmente coberta pela floresta hileiana, que depois de derruba e queima, foi utilizada com cultivos itinerantes, seguidos de pousios. A regeneração natural ou espontânea dessa floresta, conhecida como capoeira, a princípio exuberante e ainda rica de espécies arbóreas, sucedeu a capoeiras de menores biomassas, com predominância de espécie de baixo valor comercial.

Em 1992, na área experimental, foi implantado viveiro para produção de mudas de várias espécies florestais, dentre elas Pinus, Cássia e Angelim. Em 1997, as atividades de produção de mudas cessaram e a área foi preparada para plantio de feijão caupi (*Vigna unguiculata*), por quatro anos. Após essa atividade a área não foi mais manejada até 2006, havendo naturalmente invasão de plantas indesejáveis, com predominância do capim-gengibre (*Paspalum notatum*), salsa-da-praia (*Ipomoea sp*), vassoura-de-botão (*Borreria verticillata*) e outras.

O solo é o Latossolo Amarelo álico, textura média, podzolizado devido aos sistemas de uso intensivo pela agricultura itinerante, durante aproximadamente 70 anos. O horizonte B contém 20% de argila total e, na granulometria, predominam as frações arenosas, grossa e fina (FALESI; BAENA, 1999).

As características físicas e químicas na camada superficial 0-20 cm do solo, determinadas no Laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental são apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2** - Características físicas e químicas do solo (0-20 cm) da área experimental, localizada no *campus* da Universidade Federal Rural da Amazônia, município de Igarapé Açu-PA.

Constituintes físico-químicos	Valores
Matéria orgânica (g kg <sup>-1</sup> )-----	14,8
Fósforo (mg dm <sup>-3</sup> )-----	3,0
Potássio (mg dm <sup>-3</sup> )-----	25,0
Cálcio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )-----	1,4
Cálcio + Magnésio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )-----	2,5
Sódio (mg dm <sup>-3</sup> )-----	15,0
Alumínio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )-----	0,6
pH em água (1:2,5)-----	5,5
Areia grossa (g kg <sup>-1</sup> )-----	546,0
Areia fina (g kg <sup>-1</sup> )-----	278,0
Silte (g kg <sup>-1</sup> )-----	36,0
Argila total (g kg <sup>-1</sup> )-----	140,0
CTC (%)-----	43,1

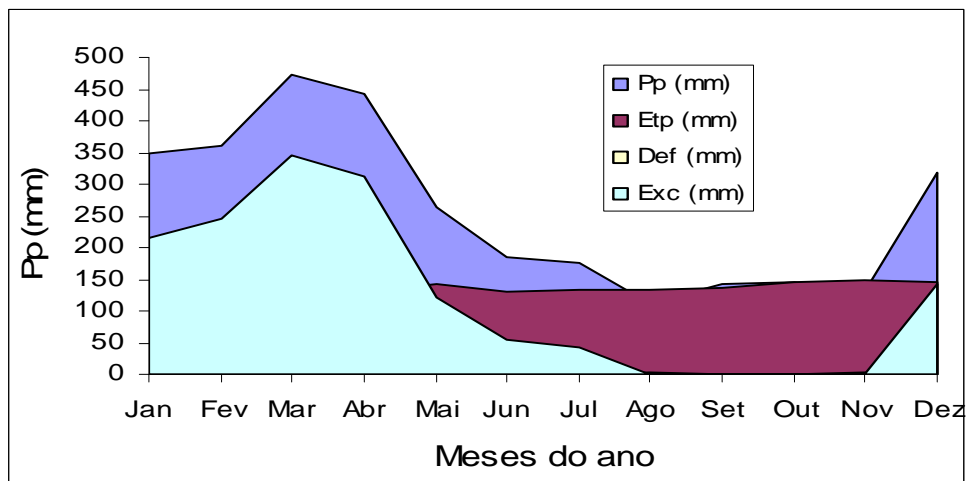
O ambiente climático é do tipo Ami, segundo Köppen. Os dados de precipitação pluviométrica do posto climatológico da Embrapa Amazônia Oriental, localizado no campus da UFRA a 800 m da área experimental, encontram-se na Tabela 3 e exibem as alturas de chuvas determinadas durante o período de 1998 a 2007. A Figura 1 visualiza melhor o regime hídrico da área, mostrado através do balanço hídrico segundo Thornthwaite e Mather (1955), no período entre 2000 a 2007.

Observa-se que o período chuvoso está distribuído entre os meses de janeiro e julho, sendo os meses de março, abril e maio os de maiores quedas pluviométricas. A transição entre o período chuvoso e seco é o mês de agosto e os meses de setembro, outubro e novembro são responsáveis pelo período mais seco do ano, influenciando bastante nas plantas cultivadas, com ênfase quando se encontram no primeiro ano de crescimento vegetativo (FALESI; BAENA, 1999).

**Tabela 3** - Precipitação pluviométrica (mm) mensal e anual, no período de 1998 a 2007 em Igarapé Açu-PA.

Meses	Anos									
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Jan.	457,8	251,1	216,9	533,3	425,4	238	331,4	153,6	260,8	110,8
Fev.	340,4	320,6	358,5	453,7	201,9	518	437,4	287,8	221,3	416,8
Mar.	410,3	522	455,9	387,4	347,4	543	443,4	406	524,9	352,2
Abr.	263,1	567,2	309,1	245	327,8	501	476	427,6	300	417,2
Mai.	350,6	381,8	352,9	135,4	333,8	287	240,2	359,4	402,4	237
Jun.	273	217,5	122,6	244,2	261,2	123	248,6	152,8	154,2	235
Jul.	222,8	115,2	252,6	198,9	178,8	158	228,6	193,6	128	89,2
Ago.	108,4	89,2	101,4	78,2	109	71,4	198,2	117,2	116,7	129,2
Set	110,2	128	95,8	174,8	35,2	108	135,8	25,6	73,5	54,4
Out.	17,8	64,6	44,5	3,8	10,2	14,2	50	37,2	23,8	47,2
Nov.	166,6	15	5,2	81,2	9	1,2	11,2	7,8	100,6	2,6
Dez.	127,8	181,6	217,6	4,4	101	97,6	56,7	196,8	12,2	231,4
Total	2848,8	2853,8	2533,0	2540,3	2340,7	2661,0	2857,5	2365,4	2318,4	2323,0

Fonte: Embrapa Amazônia Oriental.



**Figura 1** - Balanço hídrico climatológico, segundo Thornthwaite e Mather, do período compreendido entre 2000 a 2007 (profundidade do solo: 125 mm) de Igarapé Açu-PA (Lat.1°11'S, Long.47°35'W). Precipitação pluviométrica (Pp, mm); evapotranspiração (Etp, mm); déficit hídrico (Def, mm); excedente hídrico (Exc, mm).

Fonte: Embrapa Amazônia Oriental

### 3.2 PLANTIO E TRATOS CULTURAIS

Plantas de mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King) e de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.) com três meses de idade, propagadas sexualmente, foram adquiridas junto a Embrapa Amazônia Oriental, Belém-PA, e transportada para o local do experimento. O plantio foi realizado em 30 de março de 2006, quando as plantas tinham seis meses de idade e cerca de 60 cm de altura. As covas de 0,40 m x 0,40 m x 0,40 m foram arranjadas no espaçamento 4 m x 4 m. Por ocasião do plantio, cada cova recebeu 300 gramas de calcário dolomítico e dois litros de cama de galinha. Os tratamentos constaram de quatro doses: 0, 200, 400 e 600 gramas por planta ( $\text{g p}^{-1}$ ) do adubo comercial cloreto de potássio (KCl) como fonte de K. Decorridos 28 dias do plantio (28.04.2006) fez-se a primeira adubação química em cobertura, constante de  $150 \text{ g p}^{-1}$  de superfosfato simples,  $100 \text{ g p}^{-1}$  de uréia e metade da dose de cada tratamento, ou seja: 0, 100, 200 e  $300 \text{ g p}^{-1}$  de KCl. A segunda adubação, também em cobertura, ocorreu no dia 07.06.2006, recebendo cada planta a segunda metade da dose de cada tratamento e dois litros de esterco de carneiro. Em 2007, o experimento recebeu a mesma adubação potássica fornecida em 2006, também dividida em duas aplicações; a primeira (0, 100, 200 e  $300 \text{ g p}^{-1}$  de KCl) foi aplicada em 27.02.2007, juntamente com uréia ( $100 \text{ g p}^{-1}$ ) e fosfato natural arade ( $200 \text{ g p}^{-1}$ ) e a segunda em 25.05.2007, constante apenas de KCl.

Durante o período chuvoso, as plantas foram pulverizadas, mensalmente, com o fungicida cuprovit azul 0,3% para controle da mancha areolada das folhas causada pelo fungo *Thanatephorus cucumeris* e mancha circular causada pelo fungo *Cercospora* sp. As plantas daninhas foram controladas com roçagem mecânica das entrelinhas e coroamento das plantas com herbicida roundup 0,75%, a cada três meses. Fez-se também o tutoramento das plantas para evitar tombamento.

### 3.3 VARIÁVEIS AVALIADAS

As avaliações dos tratamentos foram realizadas no final da terceira semana de cada mês do ano de 2006 e 2007. Algumas avaliações foram feitas no final do período chuvoso (jul.), outras no final do período seco (nov.) e ainda outras, no final

do período de transição entre o período chuvoso e o seco (ago.).

### 3.3.1 Variáveis ambientais

As médias de temperatura do ar ( $T_{ar}$ ) e umidade relativa do ar (UR) foram determinadas ao longo das medições de trocas gasosas, utilizando-se um termo-higrômetro (modelo 5203, Incoterm, Rs, Brasil) e o déficit de pressão de vapor de água entre folha e atmosfera ( $DPV_{FA}$ ) foi estimado de acordo com Landsberg (1986), levando-se em conta a  $T_{ar}$ , UR e a temperatura da folha ( $T_{fol}$ ), em cada período de avaliação.

### 3.3.2 Variáveis biofísicas

#### 3.3.2.1 Determinação da condutância estomática, transpiração, temperatura da folha e radiação fotossinteticamente ativa

A condutância estomática ao vapor de água ( $g_s$ ), a transpiração ( $E$ ) e a temperatura da folha ( $T_{fol}$ ) foram determinadas por meio de um porômetro portátil de equilíbrio dinâmico (modelo Li 1600, LiCor, Nebraska, USA), sob luz e  $CO_2$  ambiente. A radiação fotossinteticamente ativa (RFA) foi determinada utilizando-se um sensor quântico acoplado ao porômetro. Como amostras, foram selecionados folíolos medianos do segundo par de folhas maduras, contadas a partir do ápice. As medições mensais foram feitas entre 12-13 h, nos meses de abril (um mês após o plantio) a dezembro de 2006 e, de janeiro a novembro de 2007. As medições, ao longo do dia, foram realizadas entre 8 e 16 h a intervalos regulares de 2 h, tanto no final do período chuvoso (jul), quanto no final do período seco (nov), no ano de 2007. Todas as medições foram tomadas na terceira semana do mês.

#### 3.3.2.2 Determinação do potencial hídrico foliar

O potencial hídrico das folhas, na antemanhã ( $\Psi_{am}$ ), foi determinado entre

4:30-5:30 h, o potencial hídrico do meio dia ( $\Psi_{md}$ ), entre 12-13 h e o potencial hídrico do final do dia ( $\Psi_{fd}$ ), entre 17-18 h, utilizando-se uma bomba de pressão do tipo Scholander (modelo Pms Instrument Co., Corvalles, USA), no final do período chuvoso e seco de 2007.

### 3.3.2.3 Determinação do conteúdo relativo de água

O conteúdo relativo de água foi determinado pela fórmula a seguir, segundo Slavick (1979), no final do período chuvoso e seco de 2007.

$CRA = (MF - MS) / (MS_t - MS) \times 100$ , onde:

CRA = conteúdo relativo de água (%);

MF = massa fresca (g);

MS = massa seca (g) e

$MS_t$  = massa saturada (g).

Foram retirados 10 discos foliares de 1 cm de diâmetro (um de cada folíolo) entre 6-7 h, 12-13 h e entre 17-18 h, os quais foram postos em tubos tipo Eppendorf de 3 mL, fechados e pesados em balança analítica para obter a massa fresca. Esses mesmos discos foram colocados para flutuar em água destilada, contidas em placas de Petri por 12 h a 5°C, após o que foram enxugados superficialmente, colocados de novo nos tubos Eppendorf e pesados para obter a massa saturada. Finalmente, os tubos foram abertos e colocados em estufa a 68°C, por 72 h, e novamente pesados para se obter a massa seca.

### 3.3.3 Variáveis bioquímicas

Amostras para determinação de carboidratos solúveis totais (CST), sacarose, amido, aminoácidos solúveis totais (AST), prolina, clorofilas, carotenóides, condutividade elétrica (CE), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na), foram coletadas a partir de folíolos completamente maduros e expandidos, do segundo par de folhas definitivas contadas a partir do

ápice. Os folíolos foram destacados das plantas entre 12-13 h e acondicionados em sacos de papel e levados à estufa de ventilação forçada para secagem até massa constante, por 72 h, a 68°C. Após a secagem, os folíolos foram triturados a pó fino, armazenados em frascos hermeticamente fechados até o momento das análises. Para determinação de clorofilas, carotenóides e condutividade elétrica da membrana, as amostras foram acondicionadas em tubos tipo Eppendorf e armazenados em isopor com gelo, até o momento das determinações. As coletas para quantificação das variáveis CST, sacarose, amido, CE, AST, prolina, clorofilas e carotenóides foram feitas no final dos períodos chuvoso e seco de 2007, enquanto as coletas para determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg e Na foram feitas apenas no final do período seco de 2007. As quantificações dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Na) e também foram feitas no solo, no final do período seco de 2007.

#### 3.3.3.1 Determinação das concentrações de carboidratos solúveis totais da folha

O método utilizado foi segundo Dubois et al. (1956). A extração foi obtida a quente (banho-maria a 100°C por 30 minutos), homogeneizando-se 50 mg de massa seca (MS) em 5 mL de água destilada, dentro de tubos de ensaio de 15 mL. As amostras foram centrifugadas a 1.000 g, por 10 minutos, e o sobrenadante coletado para a obtenção do extrato total. Deste, foram tomadas alíquotas de 0,020 mL por amostra e a elas adicionadas 0,480 mL de água destilada e 0,500 mL de fenol 5%, em tubos de ensaio de 15 mL. Após vigorosa agitação em vortex, 2,5 mL de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentrado foi adicionado, uniformemente de uma única vez, no centro do tubo de ensaio (com o uso de bureta graduada). Os tubos foram novamente agitados e após 20 minutos de repouso, à temperatura ambiente, obteve-se a absorvância das amostras a 490 nm em espectrofotômetro (modelo UNICAM 8675 visible spectrometer, USA). Como branco, utilizou-se 0,500 mL de água destilada (em substituição ao extrato), 0,500 mL de fenol 5% e 2,5 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Para o cálculo das concentrações de carboidrato foi utilizada curva-padrão de glicose anidra P.A. Os resultados foram expressos em g glicose kg<sup>-1</sup> MS.



### 3.3.3.2 Determinação das concentrações de sacarose da folha

Os teores de sacarose foram determinados utilizando-se o método proposto por Van Handel (1968). Para a extração, amostras de 50 mg de massa seca (MS) foliar foram homogeneizadas em 1,5 mL de solução de MCW (metanol, clorofórmio e água; 12:5:3 v/v/v), durante 30 minutos em tubos de eppendorf de 2,0 mL, sob agitação e, posteriormente centrifugadas a 10.000 g, por 10 minutos, à temperatura ambiente. Após a coleta do sobrenadante, reservado em um tubo de ensaio em separado, outra extração do resíduo resultante foi realizada, seguindo as mesmas condições acima supracitadas. O novo sobrenadante foi coletado e reunido ao primeiro. Em seguida, realizou-se a separação de fases do solvente extrator, de modo que a cada 2,0 mL do extrato final foram adicionados 0,5 mL de clorofórmio e 0,75 mL de água destilada. A mistura foi agitada vigorosamente e submetida à centrifugação 2.000 g, por 10 minutos. Das fases resultantes, a fração aquosa metanólica (superior) foi coletada, transferindo-se as mesmas para tubos de ensaio com tampa e submetendo-as à incubação em banho-maria a 35°C, por 40 minutos, para a evaporação do clorofórmio residual. A quantificação das amostras foi realizada, tomando-se alíquotas de 0,1 mL das mesmas e adicionando 0,1 mL de KOH 30%. Após vigorosa agitação, a mistura foi aquecida a 100°C por 10 minutos e, depois do resfriamento, foram adicionados 3,0 mL de solução de antrona 0,2%, preparada em H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado. A mistura foi agitada e aquecida a 40°C em banho-maria, por 20 minutos. Após resfriamento e agitação, obteve-se a absorbância das mesmas, a 620 nm, utilizando-se um espectrofotômetro (modelo UNICAM 8675 visible spectrometer, USA). Para os cálculos, uma curva padrão de sacarose P.A. foi preparada e os resultados foram expressos em g sacarose kg<sup>-1</sup> MS.

### 3.3.3.3 Determinação das concentrações de amido da folha

Foi feita, primeiramente, uma extração etanólica de cada amostra em tubos de ensaio com capacidade para 15 mL (50 mg de MS foliar em 5 mL de etanol 80% por 30 minutos em banho-maria a 80°C), para a eliminação dos açúcares solúveis. Em seguida, foram realizadas duas novas extrações, utilizando-se 5 mL de HClO<sub>4</sub> 30

%, por 30 minutos, a 25°C, segundo Dubois et al. (1956). O material das duas últimas extrações foi centrifugado a 2.000 g, por 10 minutos, e os sobrenadantes coletados em tubos de ensaio graduados, aferindo-se o volume para 10 mL com água destilada, para obtenção do extrato total. Dos sobrenadantes, 0,050 mL foram juntados a 0,450 mL de água destilada em tubos de ensaio e agitados em vortex, seguindo-se da adição de 0,5 mL de fenol 5%. Após agitação em vortex foi adicionado, uniformemente de uma única vez, no centro do tubo (com o uso de bureta graduada), 2,5 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado. Após nova agitação e repouso por 20 minutos, foi realizada a leitura da amostra em espectro-fotômetro a 490 nm. Para os cálculos das concentrações de amido, uma curva-padrão de glicose anidra P.A. foi preparada e os resultados expressos em g glicose kg<sup>-1</sup> MS.

#### 3.3.3.4 Determinação das concentrações de aminoácidos solúveis totais da folha

Foram pesados 50 mg de MS foliar e colocados em tubos de ensaio de 15 mL, adicionando-se 5 mL de água destilada. A suspensão foi colocada para ferver em banho-maria, a 100°C, por 30 minutos. Após atingir temperatura ambiente, os tubos foram centrifugados a 3.000 g, por 10 minutos, segundo o método descrito por Peoples et al. (1989). Juntou-se em tubos de ensaio, 0,500 mL do extrato de cada amostra, 0,250 mL de tampão citrato 0,2 M, pH 5,0 e 0,250 mL de reagente de ninhidrina (1 mL de KCN 0,01 M + 59 mL de metil cellosolve 100% + 0,5 g de ninhidrina). Os tubos de ensaio foram agitados e colocados em banho-maria a 100 °C, por 15 minutos. A reação foi interrompida em banho gelado e acrescentado 1,5 mL de etanol 50% (v/v). Após atingir temperatura ambiente, as leituras foram feitas em espectrofotômetro (modelo UNICAM 8675 visible spectrometer, USA) a 570 nm. Para o branco, usou-se água destilada em substituição ao extrato, mais os reagentes. As concentrações de aminoácidos (aa) solúveis totais foram determinadas a partir da curva-padrão de L-glutamina P.A. e os resultados expressos em mg aa g<sup>-1</sup> MS.

### 3.3.3.5 Determinação das concentrações de prolina da folha

Os teores de prolina foram determinados de acordo com Bates; Waldren e Teare (1973), utilizando-se tubos de ensaio de 15 mL. A extração foi realizada a quente, em banho-maria a 100°C, por 30 minutos, homogeneizando-se amostras de 50 mg de MS foliar em 5 mL de água destilada. Após centrifugação a 1.000 g, por 20 minutos, o sobrenadante foi coletado, e deste, utilizado uma alíquota de 1 mL para a quantificação de prolina. Para esta operação foi adicionado 1 mL de ninhidrina ácida e 1 mL de ácido acético glacial (99,5%), seguindo-se de agitação em vortex e incubação em banho-maria a 100°C, por 1 hora. Após o desenvolvimento da cor, as amostras foram resfriadas em banho gelado sendo adicionadas às mesmas, 2 mL de tolueno, seguido de agitação em vortex por 20 segundos, para a separação das fases. Desprezando a fase incolor inferior, a leitura das amostras da fração contendo grupo cromóforo foi realizada em espectrofotômetro (modelo UNICAM 8675 visible spectrometer, USA), a 520 nm. A concentração de prolina foi determinada por meio de uma curva de calibração de L-prolina P.A. e os resultados expressos em mmol prolina kg<sup>-1</sup> MS.

### 3.3.3.6 Determinação dos teores de clorofila **a**, **b**, (**a+b**) e carotenóides da folha

Os pigmentos foram determinados segundo Arnon (1949). Foram retirados discos de 1,0 cm de diâmetro de folhas maduras, os quais foram colocados em tubos Eppendorf de 3 mL, fechados e colocados em isopor contendo gelo. No laboratório, de cada tubo, foram retirados 10 discos dos quais, 5 foram levados para estufa a 65°C, por 48 h, e pesados, para obter o peso equivalente de massa seca; os outros 5 discos foram macerados em almofariz, com 2 mL de acetona amoniacal (81,8 mL de acetona P.A. + 18,0 ml de água destilada + 0,2 mL de NH<sub>4</sub>OH) e uma pitada de areia fina (previamente lavada com ácido clorídrico comercial e neutralizada), em abrigo de luz. Transferiu-se o homogenato para um tubo de centrifuga de 15 mL e lavado o almofariz, 4 vezes, com 2 mL de acetona amoniacal. O volume de cada lavagem era transferido para o mesmo tubo, somando-se um total de 10 mL. Esses mesmos tubos foram centrifugados a 2.500 g, por 15 minutos, e o sobrenadante transferido para tubos de ensaio abrigados da luz. Finalmente, medi-

se a absorvância de todos os extratos a 480 nm, 645 nm e 663 nm em espectrofotômetro (modelo 8676, UNICAM). Os teores de clorofilas e carotenóides foram determinados pelas fórmulas a seguir:

$$\text{Clorofila } a = 12,7 \times A_{663 \text{ nm}} - 2,69 \times A_{645 \text{ nm}}$$

$$\text{Clorofila } b = 22,9 \times A_{645 \text{ nm}} - 4,68 \times A_{663 \text{ nm}}$$

$$\text{Clorofilas } (a + b) = 8,02 \times A_{663 \text{ nm}} + 20,2 \times A_{645 \text{ nm}};$$

em que **A** representa a absorvância nos respectivos comprimentos de onda. Os valores foram expressos em  $\text{g kg}^{-1}$  MS, para teores de clorofilas, e em  $\text{mol kg}^{-1}$  MS, para carotenóides.

### 3.3.3.7 Determinação dos teores de P, K, Ca, Mg e Na da folha

Para a quantificação de P, K, Ca, Mg e Na foram pesados 0,100 g de MS foliar de cada amostra e colocados em tubos de ensaio de 100 mL, nos quais foram adicionados 2 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . A digestão foi realizada em bloco digestor a  $280^\circ\text{C}$ , por 1,5 h, para formação de um líquido negro uniforme. O branco foi preparado com  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , sem folhas. Esses mesmos tubos foram postos para esfriar e acrescido 1 mL de água oxigenada a 30%. Após agitação, foram novamente colocados no bloco digestor a  $280^\circ\text{C}$ , por 30 minutos. Essa operação foi repetida três vezes, quando foi obtido um digerido límpido e incolor, deixando-se os tubos por mais 45 minutos no bloco, após a última adição de água oxigenada. Em seguida, com os tubos frios, dilui-se o digerido com água destilada até o volume de 50 mL. Todo o material foi transferido para frascos plásticos limpos com rosca, para posterior determinação dos elementos químicos. As determinações de K, Ca, Mg e Na foram segundo Salinas e Garcia, (1985); Curvas de calibração foram preparadas com soluções de concentrações conhecidas dos nutrientes, os quais foram quantificados em fotômetro de chama (modelo 910M, Analyser Instrumentação analítica, SP, Brasil) previamente calibrado. Os resultados foram expressos em  $\text{g kg}^{-1}$  MS. As concentrações de fósforo foram determinadas segundo a metodologia de Chen Junior; Toribara e Warner (1956), adaptada. As leituras foram feitas em espectrofotômetro (modelo 8676, UNICAM) a 820 nm. Para o cálculo dos teores de fósforo utilizou-se uma curva de calibração preparada com soluções de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , de concentrações conhecidas e os resultados expressos em  $\text{g P kg}^{-1}$  MS.

### 3.3.3.8 Determinação dos teores de nitrogênio da folha

Para a quantificação de N foram pesados 0,100 g de MS de folha de cada amostra e colocados em tubos de ensaio de 100 mL, nos quais foram adicionados 1 g da mistura catalisadora de sais de  $K_2SO_4 + CuSO_4 + Se$  (10:1:1) e 3 mL de  $H_2SO_4$  concentrado. Esses mesmos tubos foram postos em bloco digestor a temperatura de  $350^\circ C$ , até a formação da cor verde-azulada. Foi preparada uma prova em branco, somente com sais catalisadores (1g) e  $H_2SO_4$  (3 mL). Em seguida, todo o digerido foi destilado em destilador de Kjeldahl, sendo as amostras coletadas em erlenmeyer de 125 mL, já contendo 20 mL do indicador  $H_3BO_4$ , 2%. Finalmente, foram adicionados ao digerido, 20 mL de NaOH 40%, procedida a destilação e titulação com HCl a 0,01 N ( $f=0,98$ ), até a obtenção da cor vermelho-púrpura. Os Cálculos foram realizados de acordo com a fórmula:

$$N-NH_4 \text{ g kg}^{-1} = (V_b - V_a) \times 1,4, \text{ em que, } V_a = \text{volume (mL) de HCl gasto no branco e } V_b = \text{volume (mL) de HCl gasto na amostra.}$$

### 3.3.3.9 Determinação dos teores de P, K, Ca, Mg e Na do solo

Para a quantificação de P, K, Ca, Mg e Na foram pesados 0,100 g de solo seco de cada amostra e colocados em tubos de ensaio de 100 mL, nos quais foram adicionados 2 mL de  $H_2SO_4$ . A digestão foi realizada em bloco digestor a  $280^\circ C$ , por 1,5 h, para formação de um líquido negro uniforme. O branco foi preparado com  $H_2SO_4$ , sem folhas. Esses mesmos tubos foram postos para esfriar e acrescido 1 mL de água oxigenada a 30%. Após agitação, foram novamente colocados no bloco digestor a  $280^\circ C$ , por 30 minutos. Essa operação foi repetida três vezes, quando foi obtido um digerido límpido e incolor, deixando-se os tubos por mais 45 minutos no bloco, após a última adição de água oxigenada. Em seguida, com os tubos frios, dilui-se o digerido com água destilada até o volume de 50 mL. Deixou-se uma noite em repouso para sedimentação da sílica, transferindo-se o digerido para proveta e aferindo-se para 50 mL. Todo o material foi transferido para frascos plásticos limpos com rosca. As determinações de K, Ca, Mg e Na foram segundo Salinas e Garcia, (1985); Curvas de calibração foram preparadas com soluções de concentrações

conhecidas dos nutrientes, os quais foram quantificados em fotômetro de chama (modelo 910M, Analyser Instrumentação analítica, SP, Brasil) previamente calibrado. Os resultados foram expressos em  $\text{g kg}^{-1}\text{MS}$ . As concentrações de fósforo foram determinadas segundo a metodologia de Chen Junior; Toribara e Warner (1956), adaptada. As leituras foram feitas em espectrofotômetro (modelo 8676, UNICAM) a 820 nm. Para o cálculo dos teores de fósforo utilizou-se uma curva de calibração preparada com soluções de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , de concentrações conhecidas e os resultados expressos em  $\text{g P kg}^{-1}\text{MS}$ .

#### 3.3.3.10 Determinação dos teores de nitrogênio do solo

Para a quantificação de N, foram pesados 0,100 g de solo seco de cada amostra e colocados em tubos de ensaio de 100 mL, nos quais foram adicionados 1 g da mistura catalisadora de sais de  $\text{K}_2\text{SO}_4 + \text{CuSO}_4 + \text{Se}$  (10:1:1) e 3 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado. Esses mesmos tubos foram postos em bloco digestor a temperatura de  $350^\circ\text{C}$  até a formação da cor verde-azulada. Foi preparada uma prova em branco, somente com sais catalisadores (1g) e  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (3 mL). Em seguida, todo o digerido foi destilado em destilador de Kjeldahl, sendo as amostras coletadas em erlenmeyer de 125 mL, já contendo 20 mL do indicador  $\text{H}_3\text{BO}_4$ , 2%. Finalmente, foram adicionados ao digerido, 20 mL de  $\text{NaOH}$  40%, procedida a destilação e titulação com  $\text{HCl}$  0.01 N ( $f=0,98$ ), até a obtenção da cor vermelho-púrpura. Os Cálculos foram realizados de acordo com a fórmula:

$$\text{N-NH}_4 \text{ g kg}^{-1} = (V_b - V_a) \times 1,4, \text{ em que, } V_a = \text{volume (mL) de HCl gasto no branco e } V_b = \text{volume (mL) de HCl gasto na amostra.}$$

#### 3.3.3.11 Determinação do pH do solo

As determinações do pH do solo, foram realizadas nas amostras coletadas na camada 0-20 cm, apenas no final do período seco. As determinações foram realizadas após o solo ser secado ao ar e passado em peneira de 60 mesh. Tais determinações de pH foram realizadas em extratos solo-água, na relação 1:2,5 (p/v),

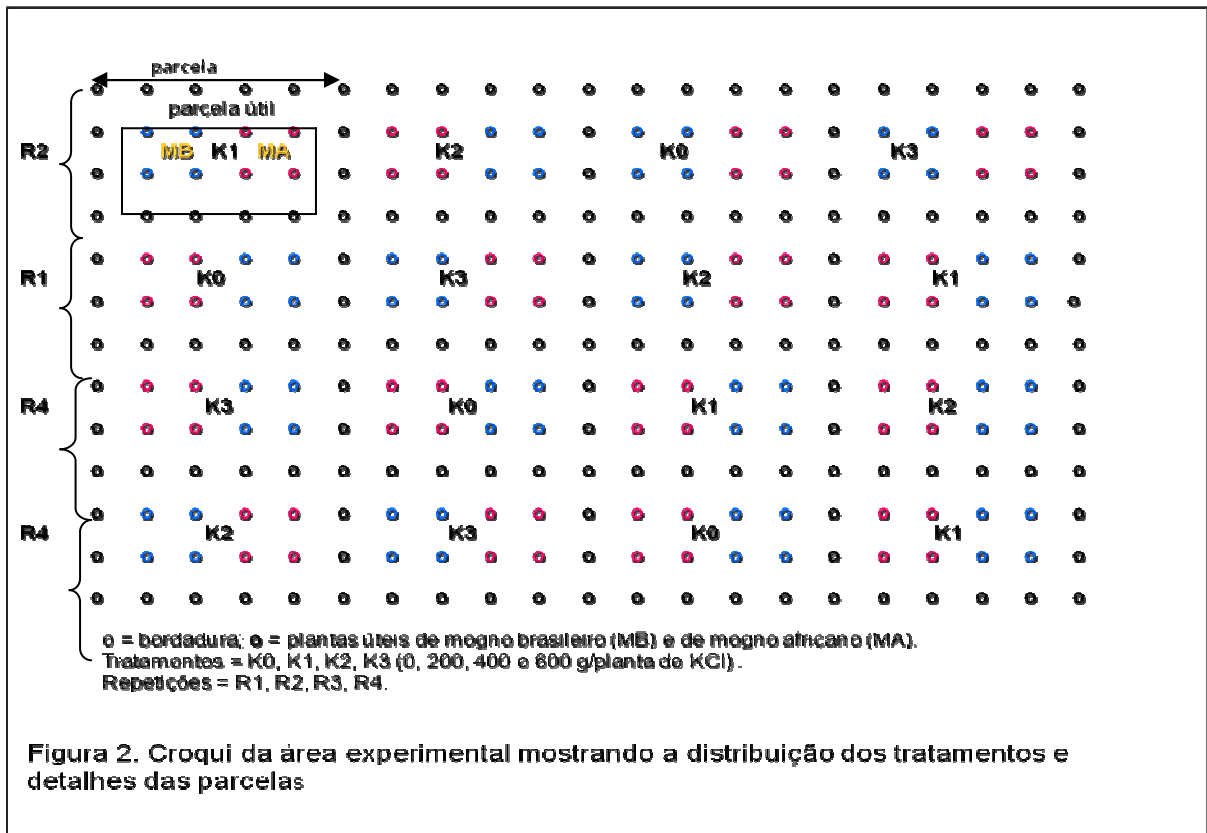
com pHmetro da Tecnal, modelo Tec-3MP.

### 3.3.4 Variáveis de crescimento

Foram quantificados, número de folhas (NF), altura das plantas (AP) e diâmetro do caule (DC). As avaliações foram realizadas ao final do período chuvoso (jul), de transição (ago) e seco (nov) de 2006 e 2007. A quantificação das variáveis de crescimento, no período de transição, foi feita para estabelecer um elo entre os dados do período chuvoso e seco, e assim, compará-los melhor. O NF foi obtido a partir da contagem das mesmas, considerando-se folhas aquelas que já apresentavam seu formato final. A AP foi obtida por meio da medição direta do caule, na região compreendida entre o coleto e o meristema caulinar, utilizando-se uma trena fixada em régua de madeira. O DC foi obtido com o uso de um paquímetro, tomado na base do caule (coleto).

## 3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados arranjados em um esquema fatorial (4 x 2 x 2), constando de quatro tratamentos (0, 200, 400 e 600 g p<sup>-1</sup>) de KCl, duas espécies (*Swietenia macrophylla* e *Khaya ivorensis*) e duas condições hídricas (períodos chuvoso e seco), com quatro repetições (Figura 2). Os resultados foram analisados usando-se o programa NTIA (EMBRAPA, Campinas-SP, 1995). A significância das médias das diversas variáveis de resposta foi avaliada, usando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade.





## 4 RESULTADOS

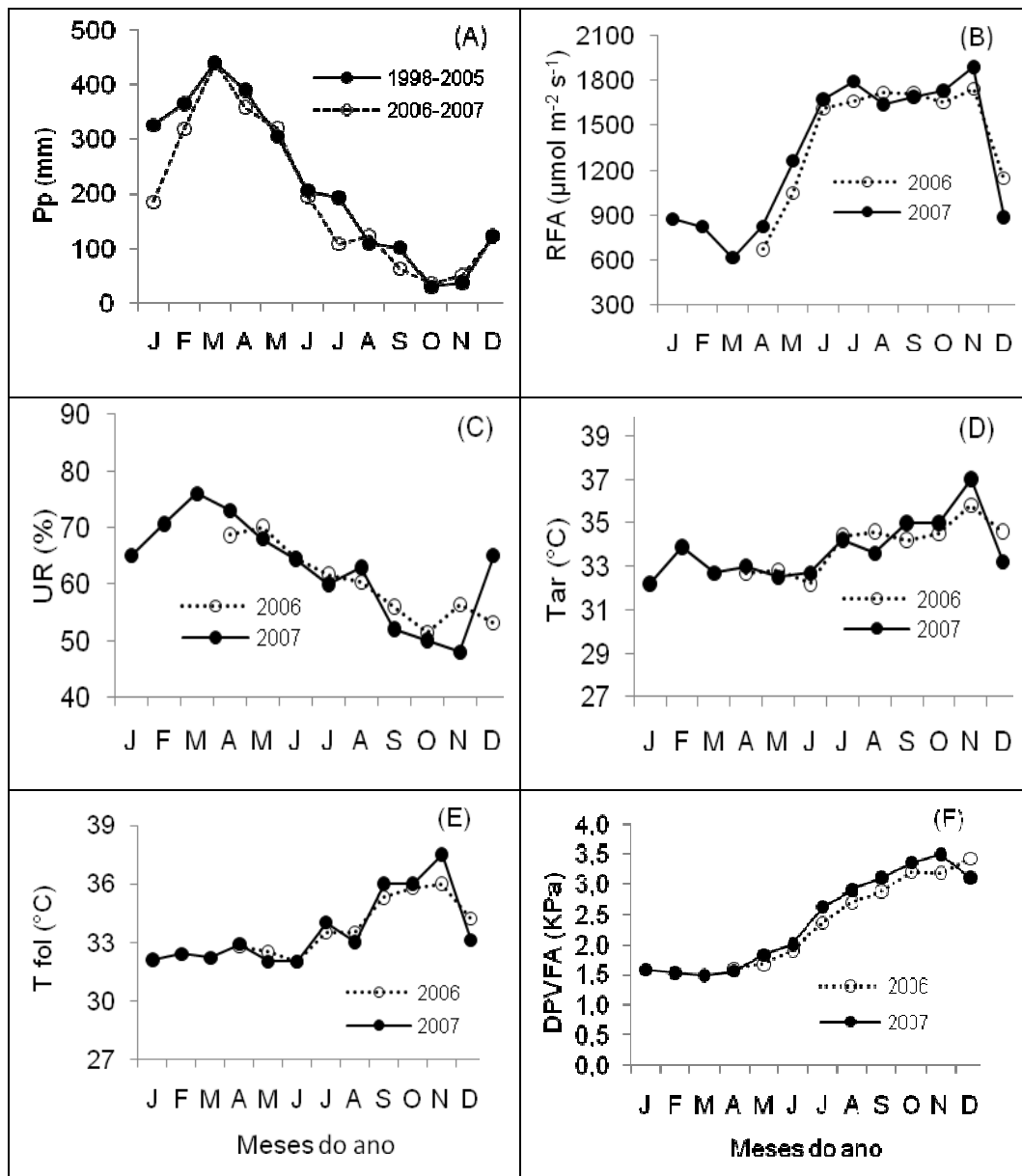
### 4.1 AMBIENTAIS

#### 4.1.1 Precipitação, radiação fotossinteticamente ativa, umidade relativa do ar, temperatura do ar, temperatura da folha e déficit de pressão de vapor entre folha e atmosfera

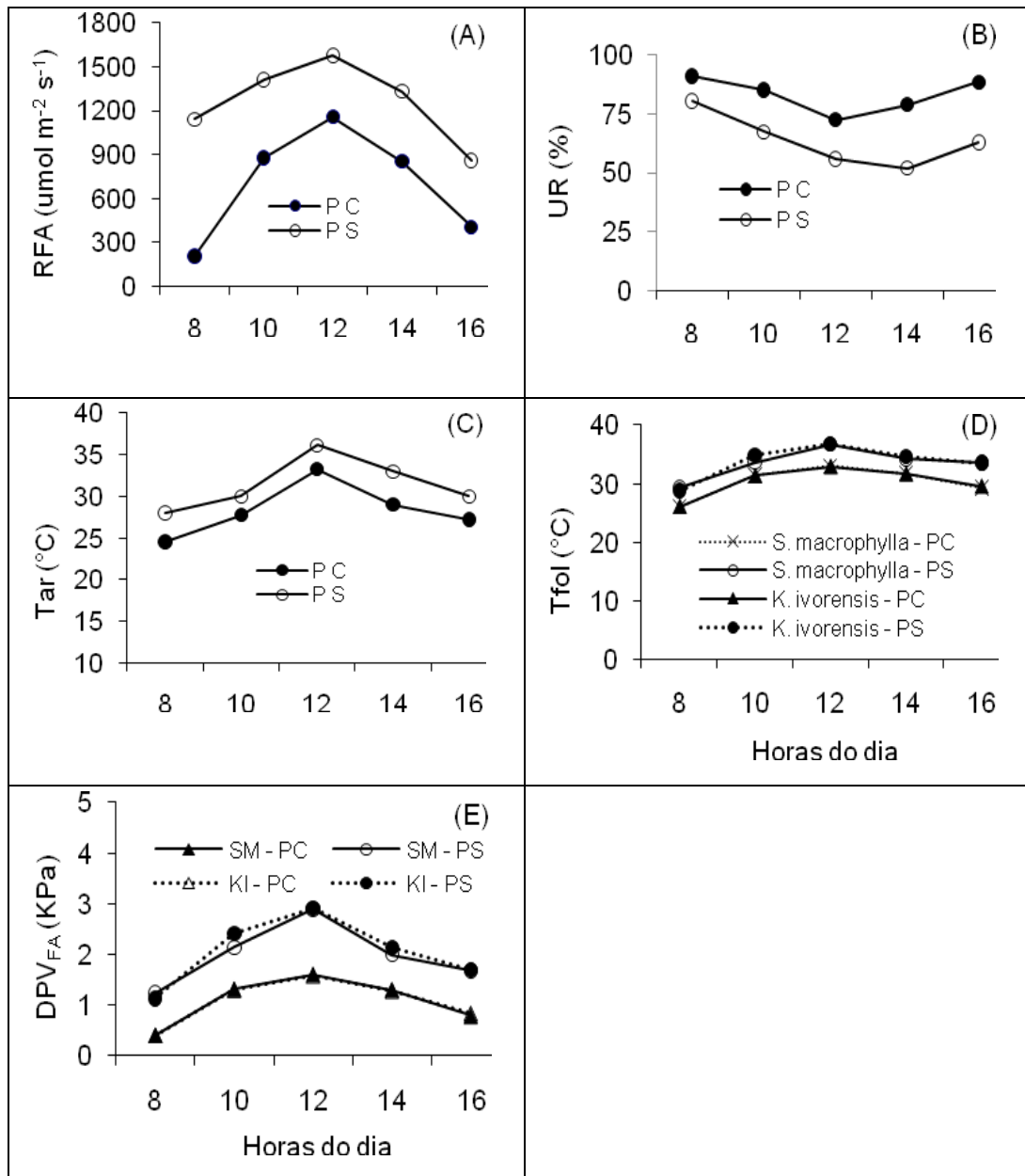
Alterações na condutância estomática ( $g_s$ ), na transpiração ( $E$ ), no potencial hídrico da folha ( $\Psi_{fol}$ ) e no conteúdo relativo de água (CRA) durante as determinações de trocas gasosas estão substancialmente relacionadas às condições ambientais as quais as plantas foram submetidas. Por essa razão, durante o período experimental foram registradas as variações mensais e diárias no regime hídrico e variações diurnas da temperatura do ar ( $T_{ar}$ ), temperatura da folha ( $T_{fol}$ ), umidade relativa do ar (UR) e a radiação fotossinteticamente ativa (RFA), enquanto o déficit de pressão de vapor entre folha e atmosfera ( $DPV_{FA}$ ) foi estimado matematicamente (Figuras 3 e 4). Foi observado que as médias das referidas variáveis, tomadas para um mesmo período e horário, foram relativamente constantes, indicando que as determinações das variáveis fisiológicas foram realizadas sob as mesmas condições ambientais.

Assim, os anos de 2006 e 2007 apresentaram precipitação média de aproximadamente 302,8 mm no período chuvoso (janeiro a julho) e de 50,2 mm no período seco (setembro a novembro), não apresentando grandes variações da série histórica 1998-2005 (Figura 3A). A RFA mensal variou, em média, de 642,5  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , no período chuvoso, a 1822,5  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , no período seco, nos anos de 2006 e 2007 (Figura 3B). Ao longo do dia, a RFA variou de 203,29 a 1157,43  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , no período chuvoso, e de 1140,83 a 1576,73  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , no período seco, com o valor mais alto, registrado entre 12-13 horas e os mais baixos, ao início (8 h) e ao final do dia (16 h), para ambos os períodos (Figura 4A). A UR mensal média dos dois anos, no período chuvoso, foi em torno de 70%, enquanto no período seco foi de 52% (Figura 3C); a UR ao longo do dia variou, em média, de 91% a 72,5% e de 80,5% a 52%, no período chuvoso e seco, respectivamente, (Figura 4B).

As curvas mensais e diárias de temperaturas (do ar e da folha para as duas espécies) seguiram a mesma tendência da curva diária de RFA, salvaguardando as magnitudes inerentes a cada uma, em cada período. Além disso, as curvas mensais de  $T_{ar}$  e  $T_{fol}$  apresentaram o mesmo comportamento, com média de 32,7°C e 32,5°C, no período chuvoso e de 35,7°C e 36,1°C, no período seco, respectivamente (Figura 3D e 3E). As curvas diárias de  $T_{ar}$  e  $T_{fol}$  também apresentaram o mesmo comportamento, variando no período chuvoso de 24,53°C a 33,28°C e de 26°C a 32,6°C e no período seco, de 28°C a 36,6°C e de 28, 26°C a 36,8°C, respectivamente (Figura 4C e 4D). Para ambos os casos, as maiores médias foram registradas por volta das 12-13 h, quando também foi registrado a maior RFA. Considerando-se as médias observadas para  $T_{ar}$ ,  $T_{fol}$  e UR, foi observado que o  $DPV_{FA}$  mensal apresentou média de 1,7 kPa, no período chuvoso, e de 3,3 kPa, no seco (Figura 3F). O  $DPV_{FA}$ , ao longo do dia, variou de 0,4 kPa a 1,58 kPa e de 1,24 kPa a 2,91 kPa, no período chuvoso e seco, respectivamente (Figura 4E), apresentando valores máximos nos horários de maiores  $T_{ar}$  e  $T_{fol}$  e menor UR.



**Figura 3** - Curso mensal da precipitação (Pp; A), radiação fotossinteticamente ativa (RFA; B), umidade relativa (UR; C), temperatura do ar ( $T_{ar}$ ; D), temperatura da folha ( $T_{fol}$ ; E) e déficit de pressão de vapor entre folha e atmosfera ( $DPV_{FA}$ ; E) em plantas de *S. macrophylla* e *K. ivorensis*, nas condições edafoclimáticas de 2006 e 2007, em Igarapé Açu-PA.



**Figura 4** - Curso diário da radiação fotossinteticamente ativa (RFA; A), umidade relativa (UR; B), temperatura do ar ( $T_{ar}$ ; C), temperatura da folha ( $T_{fol}$ ; D), déficit de pressão de vapor entre folha e atmosfera ( $DPV_{FA}$ ; E) em plantas de *S. macrophylla* (SM) e *K. ivorensis* (KI) tomadas no final do período chuvoso (PC; jul) e período seco (PS; nov) de 2007, em Igarapé Açu-PA.

## 4.2 BIOFÍSICOS

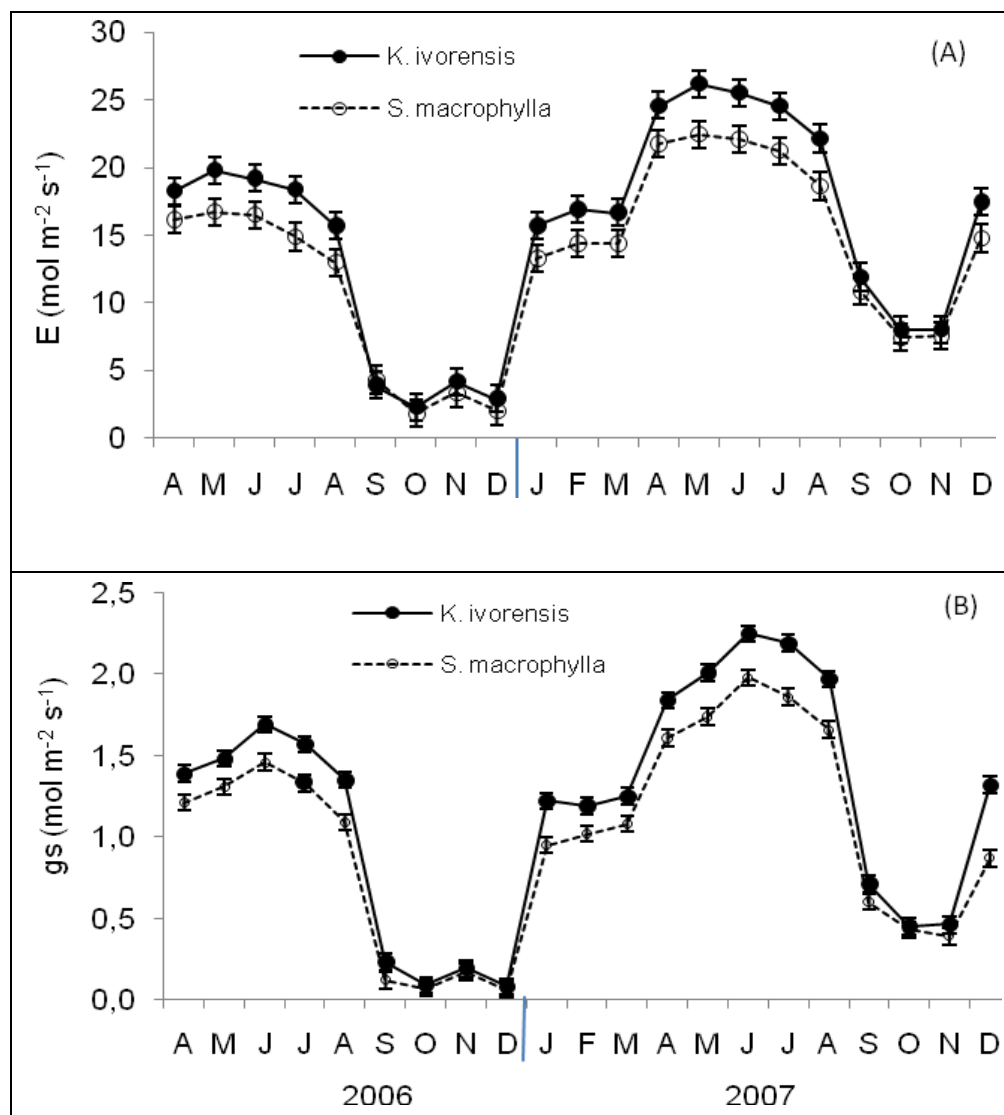
### 4.2.1 Transpiração e condutância estomática mensais

A evolução mensal da transpiração foliar ( $E$ ) e condutância estomática ( $g_s$ ) de 2006 e 2007 em plantas de *K. ivorensis* e *S. macrophylla* pode ser observada na Figura 5. Em 2006, as médias de  $E$  diferiram estatisticamente entre as espécies nos meses sem restrição hídrica (abril a agosto), com *K. ivorensis* apresentando maior  $E$  ( $18,24 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) que *S. macrophylla* ( $15,41 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Porém, entre setembro a dezembro as espécies apresentaram forte redução em  $E$  ( $3,05 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), não havendo diferença significativa entre as mesmas. Foi verificado, portanto, que o déficit hídrico promoveu redução em cerca 80% na transpiração de ambas as espécies (Figura 5A).

O comportamento da transpiração em 2007 seguiu a mesma tendência observada para a transpiração em 2006. Contudo, nesse ano, as espécies apresentaram maiores médias, inclusive nos meses com restrição hídrica. Além disso, no início do período chuvoso,  $E$  aumentou gradativamente, alcançando maiores valores, a partir de abril. Assim, foi verificado que a transpiração média variou de  $13,97$  a  $16,40 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  entre janeiro a março, aumentando para  $21,20$  e  $24,58 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  entre abril e agosto, para *S. macrophylla* e *K. ivorensis*, respectivamente. No período seco a transpiração diminuiu para  $10,31 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , sem apresentar diferença significativa entre as espécies, representando redução da  $E$  em cerca de 50%, em ambas as espécies (Figura 5A e 5B).

A condutância estomática ( $g_s$ ) em 2006 seguiu o mesmo padrão observado para  $E$  desse ano (Figura 5B). Deste modo, as médias de  $g_s$  diferiram estatisticamente entre as espécies, nos meses sem restrição hídrica (abril a agosto), com *K. ivorensis* apresentando maior  $g_s$  ( $1,50 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) que *S. macrophylla* ( $1,28 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Porém, entre setembro a dezembro, as espécies apresentaram forte redução em  $g_s$  ( $0,13 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), não havendo diferença significativa entre as mesmas (Figura 5B). À semelhança do que ocorreu com  $E$ , em 2006, foi verificado que o déficit hídrico promoveu redução em cerca de 90% na  $g_s$  de ambas as espécies, nesse ano. O comportamento da  $g_s$ , em 2007, mostrou a mesma tendência observada para essa variável, em 2006 (Figura 5B). Contudo, as espécies

apresentaram maiores médias, inclusive nos meses com restrição hídrica. Comparando-se os dois anos, foi verificado, em 2007, acréscimo médio para ambas as espécies de 16% em  $E$  e, de 14% em  $g_s$ , no período chuvoso; no período seco, o aumento em  $E$  (70%) e  $g_s$  (75%) foram bem mais expressivos.



**Figura 5** - Variação mensal da transpiração ( $E$ ; A) e condutância estomática ( $g_s$ ; B), tomadas entre 12-13 h, em folhas de *S. macrophylla* e *K. ivorensis* nas condições edafoclimáticas de Igarapé Açú-PA, em 2006 e 2007.

#### 4.2.2 Transpiração e condutância estomática ao longo do dia

O comportamento diário da  $E$ , das plantas no período chuvoso de 2006, tendeu a uma curva do tipo quadrática, representada pela equação  $y = -0,564x^2 + 13,56x - 62,98$  ( $r^2 = 0,99$ ), para *K. ivorensis* e  $y = -0,484x^2 + 11,71x - 54,58$  ( $r^2 = 0,99$ ), para *S. macrophylla* (Figura 6A). Foi observado que as médias de  $E$  diferiram estatisticamente, ao longo do dia entre as espécies, quando estas foram comparadas nos horários compreendidos entre 10 h e 14 h, com *K. ivorensis* apresentando maior transpiração. Foi observado também que a máxima  $E$  ocorreu na hora mais quente do dia (12 h), quando *K. ivorensis* transpirou  $18,89 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e *S. macrophylla*  $16,57 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Entretanto, nas horas mais brandas, as espécies apresentaram similares taxas de transpiração. Um comportamento hiperbólico foi também observado para  $E$  no período seco, representado pela equação  $y = 0,125x^2 - 3,291x + 23,14$  ( $r^2 = 0,97$ ), para *K. ivorensis* e  $y = 0,110x^2 - 2,947x + 20,66$  ( $r^2 = 0,97$ ), para *S. macrophylla* (Figura 6A). Porém, diferentemente do que fora observado para  $E$ , no período chuvoso, as taxas de  $E$ , no período seco, não variaram significativamente entre as espécies; e, ao longo do dia, apresentaram variações significativas entre o início da manhã (8 h) e as demais horas do dia (10 h às 16 h), cujos valores médios variaram entre  $4,70 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e  $1,87 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Observando a transpiração nos dois períodos, foi verificado que o déficit hídrico promoveu forte redução de  $E$ , cujos valores médios variaram em 48%, ao início da manhã (8 h), e 90%, entre 12 e 16 h, em relação às plantas no período chuvoso.

Para a condutância estomática ( $g_s$ ) em 2006, foi observado que o curso diário, no período chuvoso e seco, seguiu o mesmo padrão observado para  $E$ , inclusive com relação à concavidade das regressões obtidas (Figura 6B). Foi observado também que, no período chuvoso, as médias de  $g_s$  diferiram estatisticamente ao longo do dia, entre as espécies, quando estas foram comparadas nos horários compreendidos entre 10 h e 14 h, com *K. ivorensis* apresentando maior  $g_s$ ; e que a máxima condutância ocorreu na hora mais quente do dia (12 h), quando *K. ivorensis* alcançou  $4,18 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e *S. macrophylla*,  $3,70 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Entretanto, nas horas mais brandas as espécies apresentaram similares taxas de condutância estomática.

Por outro lado, as taxas de  $g_s$ , no período seco, não variaram significativamente entre as espécies; e, ao longo do dia, apresentaram variação

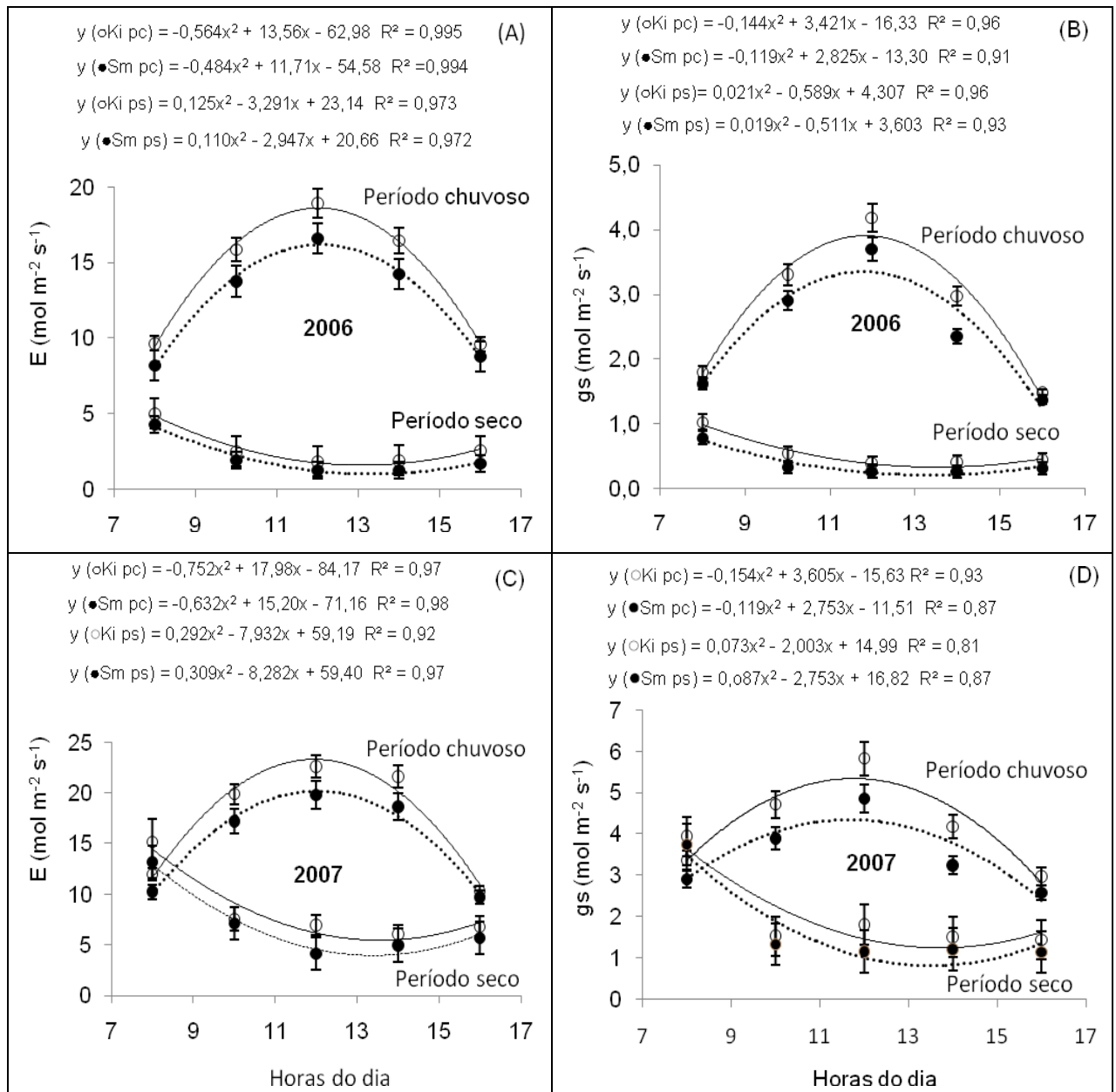
significativa, entre o início da manhã (8 h) e as demais horas do dia (10 h às 16 h), cujos valores médios variaram entre  $0,90 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e  $0,36 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . À semelhança do que ocorreu com a transpiração no período seco, o déficit hídrico também promoveu forte redução em  $g_s$ ; as reduções nos valores de  $g_s$  alcançaram 47%, às 8 h, e 92%, entre 12 h e 16 h, em relação às plantas no período chuvoso. Os resultados mostram que, no período seco de 2006, os estômatos abriram parcialmente no início da manhã e permanecem praticamente fechados por todo o restante do dia.

O curso diário de  $E$  e  $g_s$ , no período chuvoso e seco de 2007, seguiu os mesmos padrões observados para essas variáveis em 2006, incluindo a similaridade nas curvas e nos horários de observação (Figura 6C e 6D). Mas, em 2007, as plantas apresentaram valores de  $E$  e  $g_s$  mais elevados que os observados em 2006, inclusive no período seco, mostrando que as plantas suportaram melhor o déficit hídrico no segundo ano de implantação do experimento, quando haviam alcançado maior desenvolvimento vegetativo.

Foi observado que, no período seco, as médias de  $E$ , variaram de  $6,15 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  a  $14,16 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , sendo máxima às 8 h e mínimo nas demais horas do dia. Os dados mostram que o déficit hídrico ocorrido no período seco não afetou  $E$  no início da manhã (8 h), mas reduziu-a em 60%, nos horários entre 10 e 16 h, em relação à  $E$  no período chuvoso (Figura 6C). Entretanto, foi superior em 65% à  $E$  observada em 2006, no mesmo período (Figura 6A).

As médias de  $g_s$ , no período seco de 2007, à semelhança do que ocorrera com  $E$  nesse mesmo período, foram máximas às 8 h ( $3,84 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e mínimas, nas demais horas do dia ( $1,39 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), mostrando que o déficit hídrico não afetou a  $g_s$  no início da manhã (8 às 10 h), mas foi reduzida em 63% nos horários entre 10 h e 16 h, em relação à  $g_s$  no período chuvoso (Figuras 6D).





**Figura 6** - Variação diária da transpiração ( $E$ ; A e C) e condutância estomática ( $g_s$ ; B e D) em folhas *S. macrophylla* (Sm) e *K. ivorensis* (Ki) no período chuvoso e período seco de Igarapé Açupá, em 2006 e 2007.

As análises de correlações lineares mostram que  $g_s$  e  $E$  foram mais influenciadas pelas variáveis ambientais, no período chuvoso que no período seco, indicando que na ausência de déficit hídrico  $g_s$  e  $E$  são fortemente dirigidas por essas variáveis. Foi verificado também que  $g_s$  e  $E$ , no período chuvoso, foram correlacionada com conteúdo relativo de água (CRA) e com o potencial hídrico da

folha ( $\Psi_{fol}$ ). Entretanto,  $gs$  e  $E$ , no período seco, não foram correlacionadas a essas variáveis, a exceção do  $\Psi_{fol}$ . (Tabela 4).

**Tabela 4** - Coeficiente de correlação de Pearson entre a condutância estomática ( $gs$ ), transpiração ( $E$ ), umidade relativa (UR), radiação fotossinteticamente ativa (RFA), déficit de pressão de vapor entre folha e atmosfera ( $DPV_{FA}$ ), temperatura foliar ( $T_{fol}$ ), temperatura do ar ( $T_{ar}$ ), conteúdo relativo de água (CRA) e potencial hídrico da fol ( $\Psi_{fol}$ ) em plantas de *K. ivorensis* e *S. macrophylla* nas condições edafoclimáticas de Igarapé Açú-PA, em 2007.

Correlações	n° de observações	Período chuvoso	Período seco
$gs$ X UR	16	-0,7825*	0,8213**
$gs$ X RFA	16	0,8319**	-0,1855 <sup>ns</sup>
$gs$ X $T_{ar}$	16	0,7766*	-0,5554 <sup>ns</sup>
$gs$ X $DPV_{FA}$	16	0,7731**	-0,6595*
$gs$ X $T_{fol}$	16	0,6944*	-0,8502**
$E$ X UR	16	-0,8501**	0,8964***
$E$ X RFA	16	0,9157***	0,2591 <sup>ns</sup>
$E$ X $T_{ar}$	16	0,7518*	-0,6880*
$E$ X $DPV_{FA}$	16	0,8811**	-0,7140*
$E$ X $T_{fol}$	16	0,8281**	-0,8883**
$gs$ X $E$	16	0,8585**	0,9738***
$gs$ X CRA	16	-0,8782*	0,2894 <sup>ns</sup>
$gs$ X $\Psi_{fol}$	16	-0,8423*	0,7684 <sup>ns</sup>
$E$ X CRA	16	-0,8878*	0,2995 <sup>ns</sup>
$E$ X $\Psi_{fol}$	16	-0,8909**	0,8381*

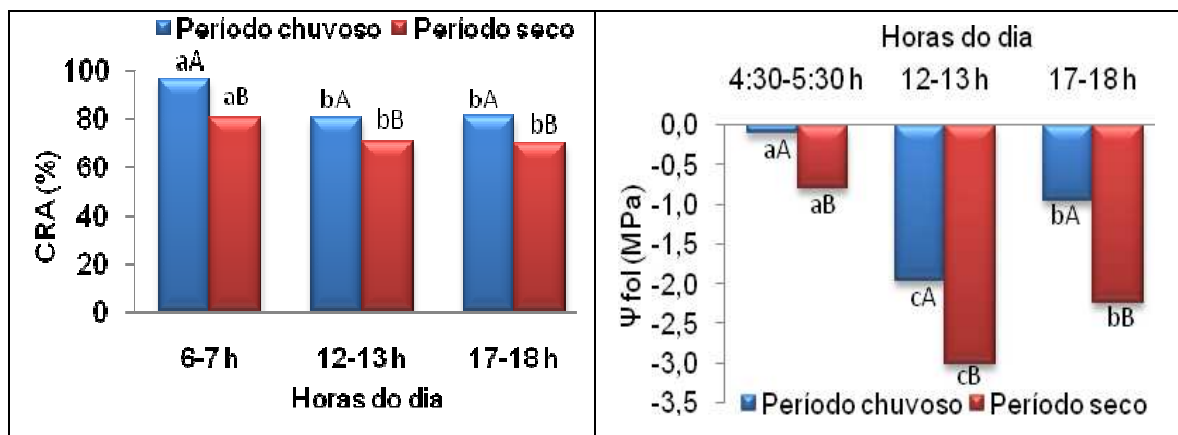
<sup>ns</sup> Não significativo pelo teste F, \*Significativo pelo teste F ( $P < 0,05$ ), \*\*Significativo pelo teste F ( $P < 0,01$ ), \*\*\*Significativo pelo teste F ( $P < 0,001$ ).

#### 4.2.3 Conteúdo relativo de água e potencial hídrico foliar

As plantas de *K. ivorensis* e de *S. macrophylla*, mesmo sob regime hídrico intenso (período chuvoso), apresentaram significativa variação no conteúdo relativo de água (CRA) e no potencial hídrico foliar ( $\Psi_{fol}$ ), com a estação climática e com o

horário do dia (Figura 7A). No período chuvoso, o CRA do início da manhã (6-7 h) foi de 96,3%, enquanto no período seco diminuiu significativamente para 80,4%. A partir desse horário, verificou-se um decréscimo também significativo até ao meio-dia (12 h), quando os valores ficaram em torno de 80% e 70% para o período chuvoso e seco, respectivamente. A partir daí, o CRA não se recupera e finda o dia (17-18 h) com valores estatisticamente iguais aos do meio dia (Figura 7A).

A evolução do  $\Psi_{fol}$  (Figura 7B) seguiu, de modo geral, a mesma tendência observada para o CRA. Entretanto, apresentou valores com diferenças significativas tanto para períodos quanto para todos os horários observados. Assim, foi verificado que o déficit hídrico promoveu redução no  $\Psi_{fol}$  de 13% pela manhã (4:30-5:30 h), de 65% ao meio dia (12 h) e de 40% no final do dia (17-18 h), em relação às plantas no período chuvoso.



**Figura 7** - Variação diurna do conteúdo relativo de água (CRA) e do potencial hídrico foliar ( $\Psi_{fol}$ ) em *K. ivorensis* e *S. macrophylla*, no final do período chuvoso (jul) e seco (nov) de Igarapé Açu-PA, em 2007.

Letras minúsculas comparam as variáveis entre as horas do dia dentro de um mesmo período climático e letras maiúsculas comparam as variáveis entre períodos climáticos na mesma hora do dia.

Os resultados das análises do conteúdo relativo de água (CRA) e do potencial hídrico foliar ( $\Psi_{fol}$ ) de *S. macrophylla* e *K. ivorensis* são mostrados na Tabela 5. Foi constatado que *k. ivorensis* apresentou valores significativamente menores de CRA e  $\Psi_{fol}$  que *S. macrophylla*, independente das doses de KCl, períodos climático e horários de avaliação estabelecidos.

**Tabela 5** - Conteúdo relativo de água (CRA) e potencial hídrico foliar ( $\Psi_{fol}$ ) em plantas de *S. macrophylla* e *K. ivorensis*, nas condições edafoclimáticas de Igarapé Açu-PA, em 2007.

Espécies	CRA (%)	$\Psi_{fol}$ (MPa)
<i>S. macrophylla</i>	80,27 a	-1,45 a
<i>K. ivorensis</i>	79,37 b	-1,54 b
CV (%)	2,63	7,33

Letras minúsculas comparam as variáveis entre espécies.

O CRA e o  $\Psi_{fol}$ , no período chuvoso, correlacionaram-se fortemente às variáveis ambientais. Um comportamento contrário foi observado para o CRA no período seco. O  $\Psi_{fol}$  não se correlacionou apenas com a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) nesse período (Tabela 6).

**Tabela 6** - Coeficiente de correlação de Pearson entre conteúdo relativo de água (CRA), potencial hídrico da folha ( $\Psi_{fol}$ ), umidade relativa (UR), radiação fotossinteticamente ativa (RFA), temperatura do ar ( $T_{ar}$ ) e déficit de pressão de vapor entre folha e atmosfera ( $DPV_{FA}$ ) em plantas de *K. ivorensis* e *S. macrophylla* nas condições edafoclimáticas de Igarapé Açu-PA, em 2007.

Variáveis	n° de observações	Período chuvoso	Período seco
CRA X UR	16	0,9213**	0,5670 <sup>ns</sup>
CRA X RFA	16	-0,9360**	0,5021 <sup>ns</sup>
CRA X $T_{ar}$	16	-0,9470**	-0,6427 <sup>ns</sup>
CRA X $DPV_{FA}$	16	-0,9507**	-0,6358 <sup>ns</sup>
$\Psi_{fol}$ X UR	16	0,9806**	0,9361**
$\Psi_{fol}$ X RFA	16	-0,9861***	-0,6769 <sup>ns</sup>
$\Psi_{fol}$ X $T_{ar}$	16	-0,9840***	-0,9776**
$\Psi_{fol}$ X $DPV_{FA}$	16	-0,9814***	-0,9845***

<sup>ns</sup> Não significativo pelo teste F, \*Significativo pelo teste F ( $P < 0,05$ ), \*\*Significativo pelo teste F ( $P < 0,01$ ), \*\*\*Significativo pelo teste F ( $P < 0,001$ ).

### 4.3 BIOQUÍMICOS

#### 4.3.1 Teores de carboidratos solúveis totais, sacarose, prolina e aminoácidos solúveis totais

A Tabela 7 mostra que a deficiência hídrica aumentou os teores de carboidratos solúveis totais (CST), sacarose, prolina livre e aminoácidos solúveis totais (AST) nas folhas das duas espécies estudadas. Nestas condições, *K. ivorensis* apresentou teores significativamente superiores de Prolina (85,55 mmol kg<sup>-1</sup>) e AST (48,02 g kg<sup>-1</sup>) que os apresentados por *S. macrophylla* (24,82 mmol kg<sup>-1</sup> de prolina e 26,19 g kg<sup>-1</sup> de AST). Por outro lado, os teores de CST e sacarose, apresentados por *S. macrophylla*, foram significativamente superiores aos obtidos por *K. ivorensis*. Essa tendência também foi observada com relação ao período chuvoso, porém as variações nos teores dessas substâncias foram menores que no período seco.

**Tabela 7** - Teores de carboidratos solúveis totais (CST), sacarose, Prolina e aminoácidos solúveis totais (AST) em folhas de *S. macrophylla* e *K. ivorensis*, nas condições do período chuvoso (PC) e período seco (PS) de Igarapé Açu-PA, em 2007.

Espécies	CST (g kg <sup>-1</sup> )		Sacarose (g kg <sup>-1</sup> )		Prolina (mmol kg <sup>-1</sup> )		AST (g kg <sup>-1</sup> )	
	P.C	P.S	P.C	P.S	P.C	P.S	P.C	P.S
<i>K. ivorensis</i>	68,15bB	91,65bA	14,00bB	36,08bA	13,16aB	85,55aA	20,12aB	48,02aA
<i>S. macrophylla</i>	99,92aB	143,25aB	23,06aB	39,04aA	7,97bB	24,82bA	12,31bB	26,19bB
CV	7,47		10,96		15,55		6,98	

Letras minúsculas comparam as variáveis entre espécies e letras maiúsculas comparam as variáveis entre períodos.

A adubação potássica, no período seco, promoveu acúmulo de AST e prolina nas folhas das plantas, independentemente das espécies estudadas (Tabela 8). A análise dos resultados mostra diferença significativa entre tratamentos nesse período, onde se observa que o tratamento sem KCl acumulou 29,33 g kg<sup>-1</sup> de AST comparado aos 44,11 g kg<sup>-1</sup> acumulados com a maior dose de KCl (600 g KCl p<sup>-1</sup>). De modo geral, essa mesma tendência foi observada com relação ao acúmulo de prolina, mas apresentando um aumento menos expressivo entre tratamentos.

Quanto às diferenças entre períodos, verifica-se que os teores de AST foram cerca de duas vezes maiores no período seco quando comparados ao período chuvoso, enquanto os de prolina foram cerca de cinco vezes maiores para todos os tratamentos.

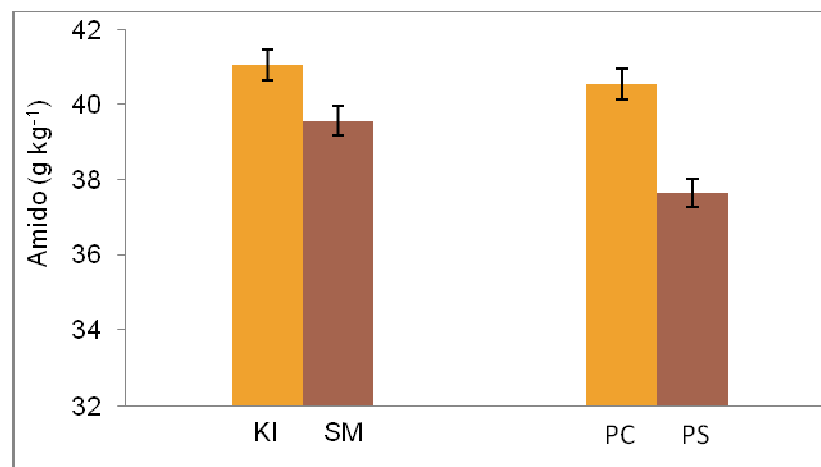
**Tabela 8** - Teores de aminoácidos solúveis totais (AST) e Prolina em folhas de *S. macrophylla* e *K. ivorensis* submetidas a quatro doses de KCl nas condições edafoclimáticas de Igarapé Açú-PA, em 2007.

Doses de KCl (g p-1)	AST (g kg <sup>-1</sup> )		Prolina (mmol kg <sup>-1</sup> )	
	Período chuvoso	Período seco	Período chuvoso	Período seco
0	16,19 bA	29,33 aC	10,57 bA	50,04 aB
200	16,33 bA	36,34 aB	10,55 bA	53,28 aB
400	15,84 bA	38,64 aBA	9,79 bA	57,76 aA
600	16,49 bA	44,11 aA	11,36 bA	59,67 aA
CV	6,98		15,59	

Letras minúsculas comparam as variáveis entre tratamentos e letras maiúsculas comparam as variáveis entre períodos.

#### 4.3.2 Teores de amido

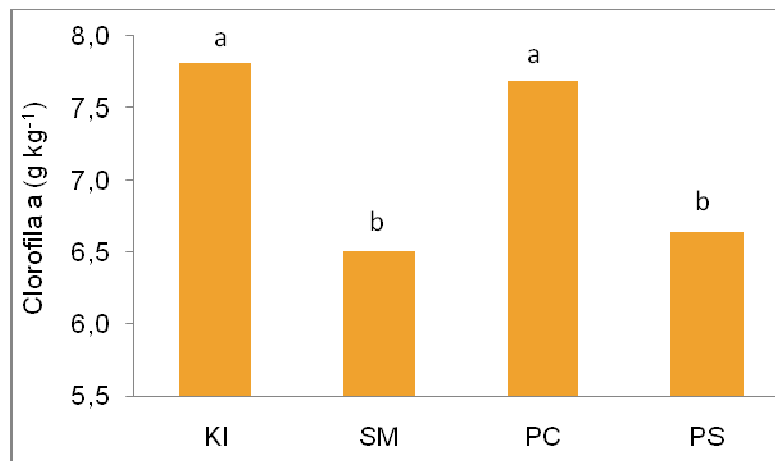
A deficiência hídrica reduziu significativamente ( $P>0,05$ ) as concentrações de amido nas folhas de ambas as espécies, entretanto *K. ivorensis* acumulou mais amido que *S. macrophylla*, independentemente do período climático (Figura 8).



**Figura 8** - Teores de amido em folhas de *K. ivorensis* (KI) e *S. macrophylla* (SM) nas condições do período chuvoso (PC) e período seco (PS) de Igarapé Açú-PA, em 2007.

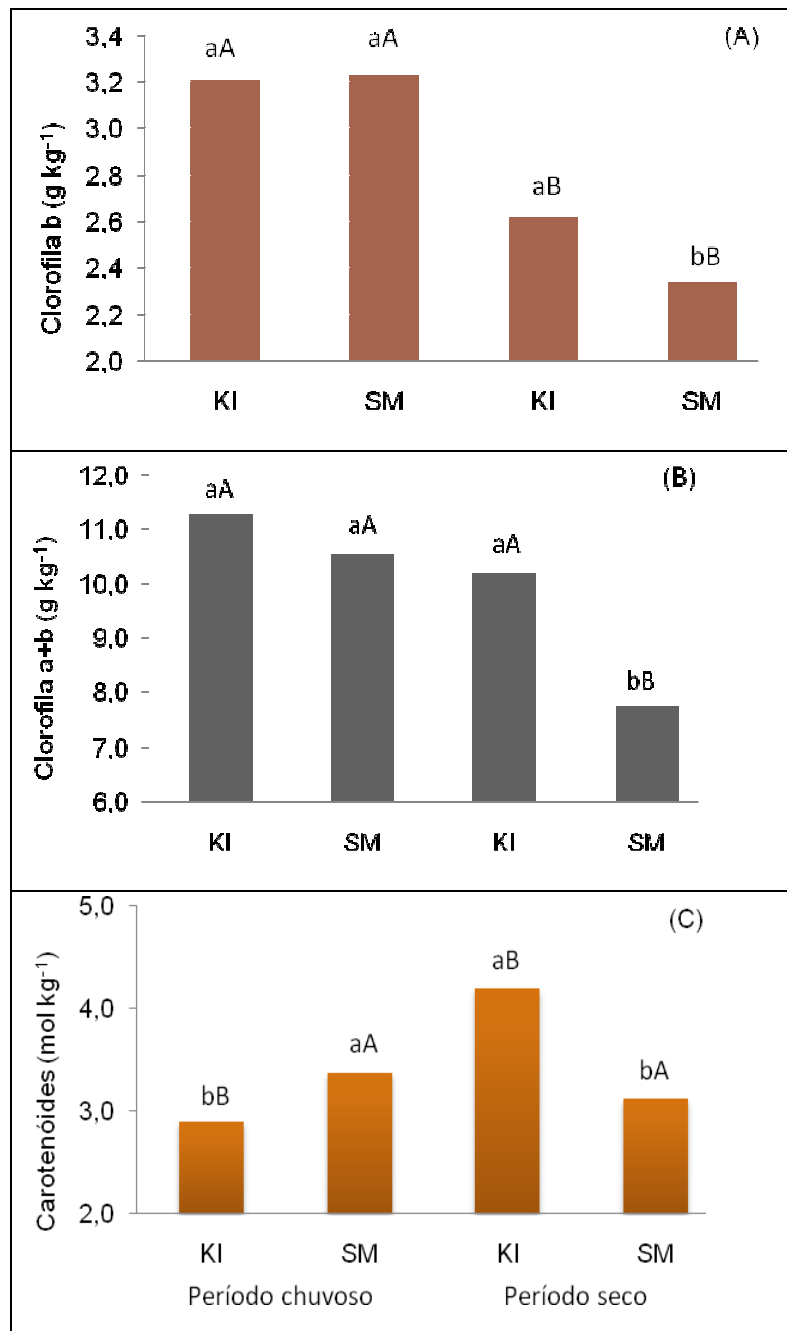
#### 4.3.3 Teores de clorofila a, clorofila b, clorofila a+b e carotenóides

Para os teores de clorofila **a** (Figura 9), a análise de variância revelou efeito significativo tanto para espécies quanto para períodos, mas não para as suas interações (Tabela E, no apêndice). Foi verificado que os teores de clorofila **a** foram maiores em *K. ivorensis* que em *S. macrophylla* e que o estresse hídrico reduziu significativamente as concentrações destes pigmentos nas folhas de ambas as espécies.



**Figura 9** - Teores de clorofila **a** em folhas de *K. ivorensis* (KI) e *S. macrophylla* (SM) nas condições do período chuvoso (PC) e período seco (PS) de Igarapé Açu-PA, em 2007. Letras minúsculas comparam a variável entre espécies e entre períodos.

Na Figura 10, são apresentados os resultados das análises dos pigmentos clorofila **b**, clorofila **a+b** e carotenóides, feitos nos tecidos foliares de *K. ivorensis* e *S. macrophylla*. Foi observado que o período seco reduziu os teores de clorofila **b** em ambas as espécies (Figura 10A); reduziu os teores de clorofila **a+b** somente em *S. macrophylla* (Figura 10B) e aumentou os teores de carotenóides em *K. ivorensis* (Figura 10C). Foi também verificado que no período chuvoso, os teores de carotenóides foram maiores em *S. macrophylla* (3,37 g kg<sup>-1</sup>MS) que em *K. ivorensis* (2,89 mg g<sup>-1</sup> MS); mas no período seco, as concentrações de todos os pigmentos foram maiores em *K. ivorensis*, em torno de 24%.



**Figura 10** - Teores de clorofila **b** (A), clorofila **a+b** (B) e carotenóides (C) em folhas de *K. ivorensis* (KI) e *S. macrophylla* (SM) nas condições do período chuvoso e período seco de Igarapé Açu-PA, em 2007.

Letras minúsculas comparam as variáveis entre espécies em cada período e letras maiúsculas comparam as variáveis entre períodos, em cada espécie.



#### 4.3.4 Teores de nutrientes nas folhas

##### 4.3.4.1 Teores de nitrogênio, fósforo e sódio

A Tabela 9 mostra as médias dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e sódio (Na) na massa seca de folhas de *K. ivorensis* e *S. macrophylla*. Os teores médios de N e P observados em *K. ivorensis* foram significativamente ( $P < 0,001$ ) maiores que os verificados em *S. macrophylla*, apresentando acréscimo de 16% em N e 38% em P. Por outro lado, maiores teores de sódio (Na) foram obtidos em folhas de *S. macrophylla* ( $0,65 \text{ g Na kg}^{-1}$ ), comparados àqueles observados em *K. ivorensis* ( $0,32 \text{ g Na kg}^{-1}$ ), com acréscimo em torno de 50%.

**Tabela 9** - Teores de nitrogênio, fósforo e sódio nas folhas de *K. ivorensis* e *S. macrophylla* nas condições edafoclimáticas de Igarapé Açu-PA, em 2007.

Espécies	Nitrogênio	Fósforo	Sódio
	-----g kg <sup>-1</sup> -----		
<i>Khaya ivorensis</i>	26,741 a	1,701 a	0,323 b
<i>Swietenia macrophylla</i>	22,461 b	1,059 b	0,653 a
CV	3,06	11,04	20,00

Letras minúsculas comparam as variáveis entre espécies.

##### 4.3.4.2 Teores de potássio, cálcio e magnésio

Os teores de K das folhas das duas espécies foram influenciados pela adubação potássica (Tabela 10). Assim, doses crescentes de KCl aplicadas ao solo proporcionaram teores significativamente mais altos de K às folhas das plantas, indicando que as espécies absorveram tanto mais K quanto maior foi a disponibilidade desse nutriente na solução do solo, podendo ocorrer o consumo de luxo. *K. ivorensis* apresentou teores significativamente diferentes de K em todas as doses estudadas, com valores variando entre  $3,56 \text{ g kg}^{-1}$  para a testemunha e  $22,08$

g kg<sup>-1</sup> para a maior dose (600 g p<sup>-1</sup>). Para *S. macrophylla* os teores de K acumulados nas folhas variaram de 4,23 a 16,23 g kg<sup>-1</sup>, entre a testemunha e maior dose de KCl, respectivamente. Porém, entre as doses 200 e 400 g p<sup>-1</sup> não foi observado diferença significativa nos teores de K, cujo teor médio foi de 12,85 g kg<sup>-1</sup>.

Comparando-se as espécies, foi observado que os teores de K não diferiram significativamente entre a testemunha e a dose 200 g p<sup>-1</sup>, indicando que em níveis mais baixos desse nutriente as espécies apresentaram similares taxas de absorção. Porém, nas doses mais elevadas (400 e 600 g p<sup>-1</sup>) houve aumento significativo nas quantidades de K absorvidas por *K. ivorensis*.

Os teores de cálcio e magnésio (Tabela 10) foram reduzidos com doses crescentes de KCl ao solo. Foi observado que na testemunha o teor médio de cálcio das folhas de ambas as espécies foi o mais elevado (12,46 g kg<sup>-1</sup>) e na dose 600 g p<sup>-1</sup>, o mais baixo (7,66 g kg<sup>-1</sup>); essa diferença corresponde a uma redução em torno de 40% nos teores de cálcio das folhas das plantas adubadas com 600 g p<sup>-1</sup>. As doses intermediárias (200 e 400 g p<sup>-1</sup>) embora não tenham mostrado diferenças significativas entre si quanto aos teores de cálcio das folhas, também promoveram redução (28%) significativa desse elemento. As espécies tiveram comportamento semelhante quanto ao acúmulo de cálcio nas folhas perante todos os tratamentos.

O teor de magnésio (3,98 g kg<sup>-1</sup>) observado nas plantas de *S. macrophylla* com a testemunha, diferiu significativamente do teor (2,70 g kg<sup>-1</sup>) obtido com a dose 200 g p<sup>-1</sup> e daquele (2,09 g kg<sup>-1</sup>) obtido com as doses 400 e 600 g p<sup>-1</sup>, representando redução em 32% e em 47%, respectivamente, nos níveis de magnésio das folhas daquela espécie (Tabela 10).

Quanto a *K. ivorensis*, foi verificado que os teores de magnésio encontrados nas plantas adubadas com as doses 200, 400 e 600 g p<sup>-1</sup> não diferiram significativamente entre si, mas foram menores (valor médio = 1,07 g kg<sup>-1</sup>) que o teor obtido nas plantas que não receberam adubação potássica (2,45 g kg<sup>-1</sup>), e representam redução média em 58% no teor desse nutriente. Foi observada ainda diferença significativa na absorção de magnésio entre as espécies, com *S. macrophylla* acumulando mais magnésio nas folhas em todos os tratamentos, quando comparado aos teores acumulados por *K. ivorensis* (Tabela 10).

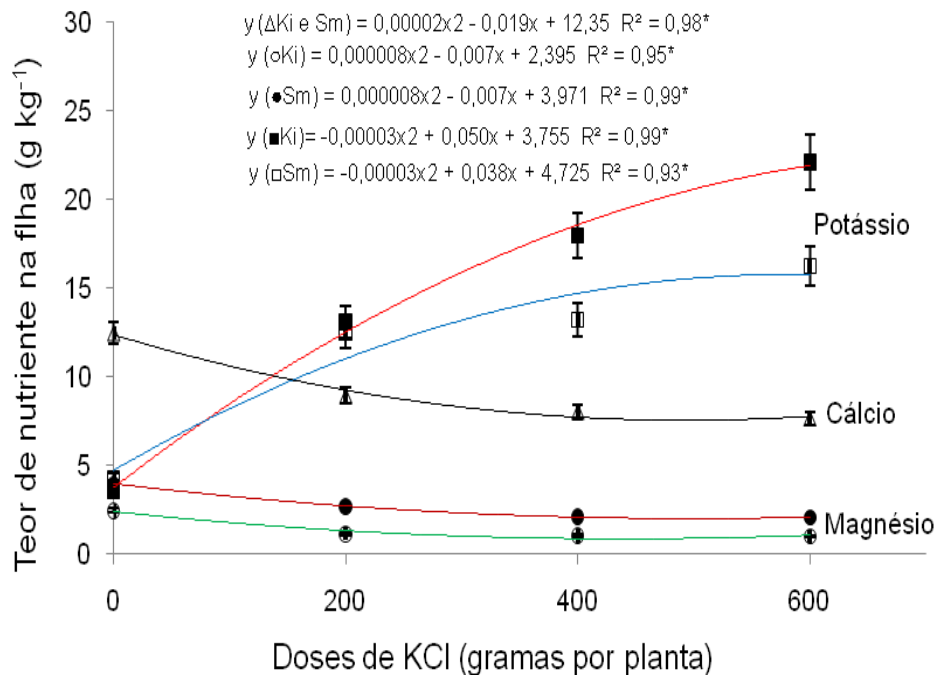
**Tabela 10** - Teores de potássio, cálcio e magnésio nas folhas de *K. ivorensis* (KI) e *S. macrophylla* (SM) submetidas a quatro doses de KCl nas condições edafoclimáticas de Igarapé Açú-PA, em 2007.

Tratamentos (g KCl p <sup>-1</sup> *)	Potássio (g kg <sup>-1</sup> )		Cálcio (g kg <sup>-1</sup> )		Magnésio (g kg <sup>-1</sup> )	
	KI	SM	KI	SM	KI	SM
0	3,562 dA	4,234 cA	12,575 aA	12,348 aA	2,454 a B	3,976 aA
200	13,094 cA	12,491 bA	8,597 bA	9,243 bA	1,145 b B	2,700 bA
400	17,973 bA	13,212 bB	7,787 bcA	8,283 bcA	1,050 b B	2,098 cA
600	22,083 aA	16,232 aB	7,475 cA	7,841 cA	1,009 b B	2,078 cA
CV	3,06	11,04	4,06	10,55	7,54	20,00

(\*) g KCl p<sup>-1</sup> = gramas de cloreto de potássio por planta.

Letras minúsculas comparam as variáveis entre tratamentos; letras maiúsculas comparam as variáveis entre espécies.

A absorção de cálcio, magnésio e potássio pelas espécies tendeu a curvas do tipo quadráticas conforme observado na Figura 11. O teor mínimo de cálcio na matéria seca das folhas das duas espécies (7,84 g kg<sup>-1</sup>) foi obtido com a dose estimada de 475 g p<sup>-1</sup> de KCl, calculada através dos dados ajustados pela equação de regressão  $Y = 0,000002x^2 - 0,019x + 12,35$  ( $R^2 = 0,98^*$ ); os teores mínimos de magnésio em *K. ivorensis* (0,86 g kg<sup>-1</sup>) e em *S. macrophylla* (2,44 g kg<sup>-1</sup>) foram obtidos com a doses estimada de 437 g p<sup>-1</sup> de KCl, calculadas através dos dados ajustados pelas equações de regressão  $Y = 0,000008x^2 - 0,007x + 2,395$  ( $R^2 = 0,95^*$ ) e  $Y = 0,00000x^2 - 0,007 + 3,971$  ( $R^2 = 0,99^*$ ), respectivamente. Já os teores máximos de K em folhas de *K. ivorensis* (24,58 g kg<sup>-1</sup>) e de *S. macrophylla* (16,75 g kg<sup>-1</sup>), foram obtidos com as doses estimadas de 833 e 633 g p<sup>-1</sup>, respectivamente, calculadas através dos dados ajustados pelas equações de regressão  $y = -0,00003x^2 + 0,050x + 3,755$  ( $R^2 = 0,99^*$ ) e  $y = -0,00003x^2 + 0,038x + 4,725$  ( $R^2 = 0,93^*$ ).



**Figura 11** - Teor médio de potássio, cálcio e magnésio nas folhas de *K. ivorensis* e *S. macrophylla* submetidas a quatro doses de KCl nas condições edafoclimáticas de Igarapé Açu-PA, em 2007. Os dados referem-se às médias de quatro repetições. Coeficiente de determinação seguido por um asterisco indica significância de regressão pelo teste F ( $P < 0,05\%$ ).

As análises de correlações lineares indicam que os teores de K, Ca e Mg das plantas foram fortemente influenciados pelas doses de potássio aplicadas no solo, demonstrados pelos altos coeficientes de correlação entre K x Ca e K x Mg (Tabela 11). O teor de K nas folhas foi influenciado positivamente, ou seja, aumentou nas folhas com o aumento de K no solo; para Ca e Mg o efeito foi contrário, indicando que a redução nos teores desses nutrientes é influenciada negativamente pela presença de K no solo. Foi verificado também correlação negativa entre o teor de K na planta o teor de Ca e Mg, também na planta.

**Tabela 11-** Coeficiente de correlação de Pearson entre teor de potássio no solo (K solo), teor de potássio na planta (K planta), teor de Ca na planta (Ca planta) e teor de Mg na planta (Mg planta) de *K. ivorensis* e *S. macrophylla* submetidas a quatro doses de KCl nas condições edafoclimáticas de Igarapé Açú-PA, em 2007

Variáveis	n° de observações	<i>K. ivorensis</i>	<i>S. macrophylla</i>
K solo X Ca solo	16	0,664*	0,843***
K solo X Mg solo	16	0,864***	0,883***
K solo X K planta	16	0,934***	0,908***
K solo X Ca planta	16	-0,836***	-0,804***
K solo X Mg planta	16	-0,844***	-0,875***
K planta X Ca planta	16	-0,860***	-0,894***
K planta X Mg planta	16	-0,902***	-0,960***

\*Significativo pelo teste F ( $P < 0,05$ ), \*\*\*Significativo pelo teste F ( $P < 0,001$ ).

#### 4.3.5 Teores de nutrientes e pH do solo

Os teores de N, P, Na do solo não foram alterados pela adubação com KCl e apresentaram valores médios de 1,530; 0,406; 0,005 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 12). Entretanto, os teores de K, Ca e Mg apresentaram variações significativas.

Todas as doses de KCl apresentaram diferenças significativas entre si, promovendo um aumento já esperado dos teores de potássio no solo à medida que as doses foram aumentadas. Assim, a disponibilidade de K no solo aumentou de 0,006 a 0,21 g kg<sup>-1</sup> entre a testemunha e a dose 600 g p<sup>-1</sup> (Tabela 12). Teores de cálcio e magnésio também aumentaram com o aumento de KCl no solo. Para Ca, os valores variaram de 0,054 a 0,094 g kg<sup>-1</sup> e para Mg, e de 0,016 e 0,034 g kg<sup>-1</sup> entre a testemunha e a dose 600 g p<sup>-1</sup>. Não houve diferença significativa nos teores de Ca entre as doses 200 e 400 g p<sup>-1</sup>, nem entre 200 g p<sup>-1</sup> e a testemunha. Para Mg, não houve diferença significativa entre as doses 400 e 600 g p<sup>-1</sup> (Tabela 12). Os resultados mostram uma interação significativa e negativa entre potássio e cálcio e entre potássio e magnésio no solo, resultando na diminuição da absorção de Ca e Mg pelas plantas.

O pH influi numa série de propriedades químicas do solo, como a disponibilidade de nutrientes e a presenças de elementos tóxicos. As plantas cultivadas em geral, desenvolvem-se bem quando o solo é um pouco ácido, ou seja,

o pH se encontra em torno de 6,5 (OSAKI, 1991). A Tabela 12 mostra que as plantas se desenvolveram em um solo cujo pH médio foi ligeiramente ácido (6,09), portanto numa faixa que possibilita a absorção da maioria dos nutrientes do solo. Foi verificado também que a adubação potássica não alterou os valores de pH do solo.

**Tabela 12** - Teores médios de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) e pH do solo submetido a quatro doses de KCl nas condições edafoclimáticas de Igarapé Açupá, em 2007.

Tratamentos (g KCl p <sup>-1</sup> )	N	P	K	Ca	Mg	Na	pH
	-----g kg <sup>-1</sup> -----						
0	1,541 a	0,376 a	0,006 d	0,054 c	0,016 c	0,005 a	6,25 a
200	1,465 a	0,387 a	0,012 c	0,062 bc	0,025 b	0,005 a	6,14 a
400	1,556 a	0,422 a	0,017 b	0,072 b	0,032 a	0,004 a	6,03 a
600	1,559 a	0,437 a	0,021 a	0,094 a	0,034 a	0,005 a	5,95 a
CV	5,81	21,69	12,93	14,49	11,23	29,37	0,87

(\*) g KCl p<sup>-1</sup> = gramas de cloreto de potássio por planta.

Letras minúsculas comparam as variáveis entre tratamentos.

#### 4.4 CRESCIMENTO

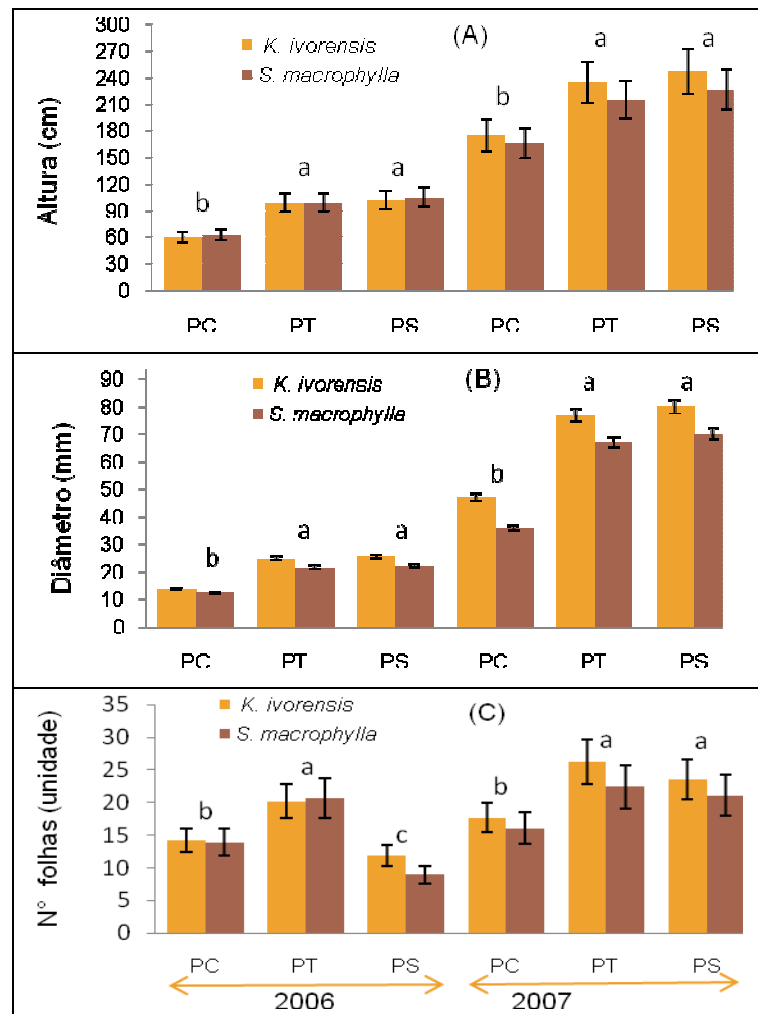
##### 4.4.1 Altura da planta, diâmetro do caule e número de folhas

Na Figura 12 encontram-se os valores das variáveis de crescimento obtidas no final de cada período climático. No período chuvoso (mar-jul) de 2006 foi observado que as médias de altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF) não diferiram estatisticamente entre as espécies, sendo que no período de transição (ago) e seco (set-nov) apenas o DC diferiu estatisticamente, tendo maior média as plantas de *K. ivorensis*. O desenvolvimento dessas variáveis

de crescimento, em 2007, seguiu basicamente a mesma tendência observada em 2006 com crescimento significativamente maior do DC para *K. ivorensis*, nos três períodos estudados, indicando que esta espécie apresenta alta taxa de crescimento em diâmetro de caule em relação a *S. macrophylla*.

Quanto aos efeitos dos períodos climáticos nas variáveis de crescimento, foi observado que nos períodos chuvoso e de transição ocorreu melhor desempenho das variáveis estudadas, tanto em 2006 quanto em 2007. Por ocasião do plantio (março de 2006) as médias da AP, DC e NF foram, respectivamente, 45 cm; 9,3 mm e 8,3 unidades para ambas as espécies. Considerando-se esses valores médios e os da Figura 12, em 2006, foi verificado um ganho de 34% em AP, 37% em DC e de 70% em NF, no período chuvoso; de 63% em AP, de 78 em DC e de 45% em NF, no período de transição; e um ganho de apenas 5% em AP e DC obtidos no período seco, uma vez que o número de folhas foi reduzido em cerca 50%, nesse período.

Dado o curto período de exposição ao déficit hídrico (cerca de três meses), pode-se inferir que a redução do crescimento da parte aérea, sobretudo no número de folhas, em parte, foi um componente de rápida resposta à deficiência hídrica em *K. ivorensis* e *S. macrophylla*.



**Figura 12** - Altura da planta (A), diâmetro do caule (B) e número de folhas (C) de plantas de *K. ivorensis* e *S. macrophylla* ao final do período chuvoso (PC, jul), período de transição (PT, ago) e período seco (PS, nov) de Igarapé Açú-PA, em 2006 e 2007. Barras comparam as variáveis dentro de cada período; letras comparam as variáveis entre períodos, em cada ano.

As análises de correlações lineares (Tabela 13) indicam que dentre os parâmetros de crescimento avaliados, apenas o número de folhas de ambas as espécies foi influenciado pelos teores de K, sobretudo os teores de K das folhas, demonstrados pelo alto coeficiente de correlação ( $R = 0,000$ ). Essa influência negativa observada no período seco mostra que altos teores de K nas folhas ajudaram promover a queda das mesmas juntamente com a deficiência hídrica (Figura 12C).



Tabela 13 - Coeficiente de correlação de Pearson entre teor de potássio no solo (K solo), teor de potássio na folha (K folha), teor de Ca na folha (Ca folha) e teor de Mg na folha (Mg folha) em plantas de *K. ivorensis* e *S. macrophylla* submetidas a quatro doses de KCl, nas condições edafoclimáticas de Igarapé Açu-PA.

Correlação	n° de observações	Valor	R
K solo x altura	32	-0,3433	0,054
K solo x diâmetro	32	-0,3038	0,091
K solo x n°folhas	32	-0,4523	0,009
K folha x altura	32	-0,2992	0,096
K folha x diâmetro	32	-0,2105	0,247
K folha x n°folhas	32	-0,5927	0,000
Ca folha x altura	32	0,4296	0,014
Ca folha x diâmetro	32	0,3551	0,046
Ca folha x n°folhas	32	0,5294	0,002

## 5 DISCUSSÃO

De modo geral, a ausência de respostas das características biofísicas, (transpiração, condutância estomática, conteúdo relativo de água e potencial hídrico da folha), à adubação potássica, (Tabelas A, B e C, em apêndice), deveu-se, possivelmente, a concentração desse nutriente no solo ( $25 \text{ mg dm}^{-3}$ ) ser suficiente para atender as demandas nutricionais das espécies que nos dois primeiros anos de idade são relativamente baixas (Tabela 2).

Dünisch et al (2002) estudaram a demanda de luz, água e nutrientes de três espécies de Meliaceae da Amazônia, de um a oito anos de idade, em condições naturais e em plantações, nos estados do Amazonas, Pará e Mato Grosso. Verificaram que a fotossíntese líquida de *S. macrophylla* e *C. odorata* dependeu fortemente de elevado teor de água e K do solo, enquanto a fotossíntese líquida de *C. guianensis* foi menos influenciada pelo teor de K e da água do solo; verificaram também que a absorção de água pelas três espécies diminuiu com a redução do teor de K do solo e que a absorção de K por *S. macrophylla* e *C. odorata* dependeu de um alto teor de água do solo, enquanto *C. guianensis* absorveu quantidades consideráveis de K também em solos secos; entretanto essas respostas foram obtidas em solos onde a variação do teor de K foi de  $4\text{-}16 \text{ mg dm}^{-3}$ .

Resultados equivalentes foram observados para *Eucalyptus grandis* com cinco anos de idade, onde não houve resposta à adubação potássica em solo com  $65 \text{ mg dm}^{-3}$  de K; porém em solo com  $14 \text{ mg dm}^{-3}$  a resposta foi significativa, apresentando uma relação quadrática com as doses aplicadas (GAVA, 1997).

Silveira e Malavolta (2000) verificaram que o *Eucalyptus* tem respondido à aplicação de K em solos cujos teores não ultrapassam  $1,0 \text{ mmol dm}^{-3}$ , em solos com teores mais elevados, as respostas não tem sido consistentes.

Silva (2003) avaliando os efeitos do manejo hídrico e da adubação potássica no desempenho, em campo, de plantas de *Eucalyptus grandis*, observou que nas plantas submetidas a elevado estresse hídricas, o K teve pouca influência na redução da transpiração, já nas mudas submetidas a pequeno estresse, o K foi importante para a redução da perda de água pelas plantas. Sugeriu que, apesar do K ser um dos nutrientes responsável pelo mecanismo de abertura e fechamento dos

estômatos, o condicionamento das mudas ao estresse hídrico é o fator mais decisivo para adaptação desse mecanismo, às condições de déficit hídrico no campo.

As maiores taxas mensais de  $E$  e  $gs$  verificadas no período chuvoso de 2006 e 2007 (Figura 5), ocorreu em virtude do excedente hídrico encontrado no solo naquele período; contrariamente, o déficit hídrico verificado no solo à época seca, contribuiu para os menores valores de  $E$  e  $gs$ . Segundo Kozlowski e Pallardy (1996), Taiz e Zeiger (2009), folhas de plantas crescendo em ambientes secos e quentes desenvolvem mecanismos que evitam a perda excessiva de água por transpiração. A redução da transpiração é um mecanismo que ajuda a reduzir a rápida exaustão da água no solo pelas plantas (LARCHER, 2004).

Redução significativa em  $gs$  foi também observada em árvores de eucalipto, quando estas foram submetidas a uma deficiência hídrica causada por suprimento de água inferior a 30% da capacidade de campo (ALMEIDA; SOARES, 2003) ou após 25 e 57 dias sob condições de déficit hídrico moderado, (PITA; PARDOS, 2001). Redução drástica em  $E$  (82,9%) e em  $gs$  (92%) também foi observada em plantas jovens de mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*), quando estas foram submetidas a um déficit hídrico de 20 dias (CORDEIRO et al, 2009). Resultados semelhantes foram observados por Silva et al. (2001) para *Swietenia macrophylla*, na estação seca, cujos valores diários de  $\Psi_w$  foram inferiores a -3,0 MPa.

As reduções nas taxas mensais de  $E$  e  $gs$  nos meses de janeiro, fevereiro e março de 2007 (Figura 5), deve-se, possivelmente, a diminuição da RFA (Figura 3), causada pela alta nebulosidade que ocorreu nesses meses, bem como pela desfolha das plantas e provável morte das raízes superficiais, promovidas pelo período seco de 2006 (set-nov). É do conhecimento geral que, o desenvolvimento e crescimento do sistema radicular e da parte aérea são interdependentes, ou seja, a limitação de um, resulta em restrição a outro. Tanto que uma desfolha da parte aérea é seguida por uma considerável morte de raízes (CASTRO et al., 2001).

O mais importante efeito do déficit hídrico do solo sobre as atividades fisiológicas das plantas, provavelmente, esteja relacionado com a redução ou paralisação do crescimento do sistema radicular (FERNANDEZ; CALDWELL, 1984; DAVIS et al., 1986). A biomassa total da raiz parece aumentar com um estresse moderado de água (SCHULZE, 1986; TAIZ; ZAIGER, 2009), mas decresce com a

seca progressiva (NAGARAJAH; SCHULZE, 1983).

A mudança na atividade do sistema radicular tem um efeito na síntese e liberação dos fitormônios, em particular as citocininas que são biosintetizadas no meristema ativo, tendo o ácido abscísico (ABA) e as citocininas, grande importância em controlar a assimilação e a condutância estomática sob condições de seca. Desta maneira, os estômatos respondem diretamente aos sinais das raízes sob condições de solo seco e parece que estes sinais estão relacionados com as atividades metabólicas, envolvendo a produção de fitormônios pelas raízes, principalmente o ABA (SCHULZE, 1986; TAIZ; ZAIGER, 2009).

O cessamento do crescimento das raízes também foi relatado por Monselise (1985) e Volpe (1992) quando ocorre o estresse por deficiência hídrica. A redução do número de folhas (40% em *K. ivorensis* e 56% em *S. macrophylla*), pelo período seco de 2006 (Figura 12C), retardou, possivelmente, o desenvolvimento vegetativo das espécies, representado pela redução na *E* e *gs* nos meses de janeiro, fevereiro e março de 2007. Já o acréscimo expressivo de *E* e *gs* no período seco de 2007, em relação a esse período de 2006 (Figura 5), mostra que no segundo ano de cultivo, o déficit hídrico não influencia tanto o desenvolvimento vegetativo das plantas quanto no primeiro ano.

Falisi e Baena (1999) relatam que embora *Khaya ivorensis* tenha encontrado boas condições ambientais para o cultivo no município de Igarapé Açu-PA e, no resto da região do nordeste paraense, o período seco daquela região influencia bastante nas plantas cultivadas, com ênfase quando se encontram no primeiro ano de crescimento vegetativo.

As maiores taxas mensais de *E* e *gs* alcançadas, no período chuvoso, por *K. ivorensis* em comparação a *S. macrophylla* (Figura 5), deve ser atribuída ao caráter genético dessa espécie. Nogueira et al. (2001) trabalhando com aceroleira (*Malpighia emarginata*) enxertadas e provenientes de sementes, atribuíram ao caráter genético as variações verificadas no fechamento estomático, decorrente do prolongamento do estresse. Segundo Peixoto (2007), diferenças entre espécies arbóreas na atividade fotossintética é função do grau de abertura dos estômatos e da capacidade de carboxilação, que é afetado pela concentração de nutrientes nas folhas.

De acordo com Franco et al (2005), existem diferenças entre as concentrações de N e P foliar entre as plantas decíduas e sempreverdes, as quais

são salientadas durante a estação seca. De fato, *K. ivorensis* difere de *S. macropylla* na forma e tamanho das folhas e na arquitetura da copa.

Neste trabalho, foi constatado que os teores de clorofila **a** (Figura 9), as concentrações de N e P nas folhas (Tabela 9), e o crescimento em diâmetro do caule (Figura 12B), são maiores em *K. ivorensis* que em *S. macropylla*, proporcionando a essa espécie maior desenvolvimento vegetativo, possivelmente, em razão da maior capacidade de absorção de energia solar e maiores taxas de *E* e *gs*.

As variáveis ambientais (Figura 4) e a umidade do solo devem ter contribuído para que as espécies apresentassem diferentes respostas, em relação a *E* e *gs* ao longo do dia, nos períodos chuvoso e seco (Figura 6), pois nas condições do período chuvoso, as maiores taxas transpiratórias foram observadas entre 10 e 14 horas, quando a temperatura do ar ( $T_{ar}$ ), temperatura da folha ( $T_{fol}$ ), radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e déficit de pressão de vapor ( $DPV_{FA}$ ) apresentavam-se mais elevadas e baixa umidade relativa (UR); enquanto no período seco, um comportamento contrário foi observado para as plantas em ambos os anos, onde as taxas transpiratórias foram reduzidas drasticamente nos horários de menor UR e maiores RFA,  $T_{ar}$ ,  $T_{fol}$  e  $DPV_{FA}$ , sobretudo em 2006 onde os valores foram quase nulos (Figura 6A e 6B). Nesse período de deficiência hídrica, *gs* e *E* não foram influenciadas pelas variáveis ambientais, a exceção da UR, em que um coeficiente de correlação altamente significativo foi observado para *E* (Tabela 4).

Portanto, *E* e *gs* mostraram-se fracamente correlacionadas ao  $DPV_{FA}$ , o qual é calculado levando-se em conta a UR,  $T_{ar}$  e  $T_{fol}$ , indicando que o fechamento estomático, no período seco, pareceu estar mais associado às alterações no potencial hídrico do solo e a fatores endógenos das plantas (sinais químicos) que as variações no  $DPV_{FA}$ .

Esses resultados assemelham-se aos obtidos por Liberato et al (2006), cujos autores observaram que a condutância estomática alcançou valores próximos de zero, induzindo diminuição severa nas trocas gasosas (fotossíntese e transpiração) de plantas de acariquara (*Minquartia guianensis*) submetidas à deficiência hídrica.

Tatagiba et al. (2007) estudando o comportamento da condutância estomática e transpiração em árvores adultas de dois clones de *Eucalyptus*, na época seca e chuvosa, verificaram que os maiores valores da condutância estomática e transpiração foliar foram encontrados na época chuvosa, em virtude do excedente

hídrico no solo, enquanto na época seca, a deficiência hídrica promoveu redução dessas variáveis fisiológicas.

Silva et al. (2003) trabalhando com plantas de *M. caesalpiniiifolia*, verificaram que após cinco dias sob seca, a  $E$  foi drasticamente reduzida em relação às plantas irrigadas, principalmente nos horários do dia de maior demanda evaporativa. Resultados semelhantes foram encontrados para *Coffea canephora*, em que DaMatta et al. (2003) observaram que, um déficit hídrico de 55 dias resultou em decréscimos de aproximadamente 50% em  $gs$ , em paralelo a reduções de mesma magnitude em  $E$ . Corroborando.

Oliveira et al. (2005) trabalhando com pupunheira (*Bactris gasipaes*), observaram reduções significativas em  $gs$  sob potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) de -1,5 MPa. Reduções de 50% em  $gs$  foram observadas em plantas irrigadas de *C. canephora*, quando o DPV aumentou para 3,0 KPa (PINHEIRO et al., 2005). Cordeiro (2007) verificou uma forte correlação entre  $gs$  e as variações da UR,  $DPV_{FA}$  e  $T_{fol}$  em plantas estressadas de mogno (*Swietenia macrophylla*).

Comparando os valores de  $E$  e  $gs$ , obtidos nos dois anos, observa-se que o nível de estresse atribuído às plantas, no período seco de 2007 (Figura 6C e 6D), não impediu que as mesmas transpirassem, mesmo nos horários de maior demanda evaporativa, permitindo, dessa forma, a absorção de  $CO_2$  para a fotossíntese. Entretanto, o período seco de 2006, impôs redução drástica em  $E$  e  $gs$  (Figura 6A e 6B), promovendo queda em cerca de 50% das folhas das plantas (Tabela 16), demonstrando que o período seco do primeiro ano de implantação do experimento foi crítico para o estabelecimento das plantas, nas condições de Igarapé Açu-PA, conforme relatam Falesi e Baena (1999).

Comparativamente, os resultados obtidos permitem inferir que o  $DPV_{FA}$  influenciou o comportamento estomático das plantas de *K. ivorensis* e de *S. macrophylla*, no período chuvoso, porém mostrou-se um componente de menor importância para as plantas sob déficit hídrico.

Quanto ao CRA e ao  $\Psi_{fol}$ , ao longo do dia, os menores valores foram observados às 12 horas, concordando com o horário de maior demanda evaporativa, independentemente do período climático (Figura 7). Entretanto, no período seco, os valores do CRA e  $\Psi_{fol}$  em todos os horários de avaliação, foram sempre inferiores aos valores registrados para as plantas no período chuvoso.

Os decréscimos do CRA e  $\Psi_{fol}$  no horário de maior demanda evaporativa, no período chuvoso, podem estar associados à defasagem entre a taxa transpiratória e a taxa de absorção de água pelas raízes (MARTIN et al., 2004; MORAIS et al., 2007), o que ocasionou aumento da  $T_{fol}$  (Figura 4), indicando que as plantas estavam sob estresse de água temporário.

O abaixamento em 35% do  $\Psi_{fol}$  (redução de -1,96 para -3,01 MPa) ao meio dia (Figura 7), em resposta ao déficit hídrico, pode ser atribuído ao aumento na concentração intracelular de carboidratos solúveis totais, sacarose, prolina e aminoácidos solúveis totais (Tabela 8) . Segundo Kramer e Boyer (1995), a adição de solutos osmoticamente ativos às células é mais eficaz em promover o abaixamento do potencial hídrico do que a própria perda de água. Assim, uma redução de 10% no volume do vacúolo celular provoca diminuição no potencial osmótico em torno de 11% do valor inicial, sendo, entretanto, a adição de solutos responsável por redução de até 50% no valor do potencial osmótico e do potencial hídrico da célula.

Deste modo, o ajustamento osmótico permite que o crescimento celular ocorra sob um potencial hídrico que geralmente seria inibidor de tal condição. Ele também auxilia a manutenção da abertura estomática e o funcionamento do aparelho fotossintético, permitindo que este opere mesmo em condições de baixo potencial hídrico (TURNER, 1980; TAIZ; GEIZER, 2009).

O acúmulo de solutos osmoticamente ativos nas células faz com que o potencial osmótico e o potencial hídrico da planta abaxem mais rapidamente que o do solo, aumentando o gradiente de potencial hídrico (TURNER; JONES, 1980). Aumentos nos teores de substâncias osmoticamente ativas e abaixamento do potencial hídrico e do conteúdo relativo de água foliar, como respostas das plantas ao déficit hídrico, também foram observados em *Medicago sativa* (IRIGOYAN, 1992), em *Gossypium hirsutum* (TIMPA et al., 1986), em *Eragrostis tef* (AYELE; BLUM; NGUYENT, 2001), em *S. macrophylla* (CORDEIRO et al., 2009) e em *S. amazonicum* e *S. parahyba* (CARVALHO, 2005).

Menores reduções no conteúdo relativo de água (CRA) e potencial hídrico foliar ( $\Psi_{fol}$ ) observados em *S. macrophylla* (Tabela 6), deveram-se, possivelmente, as diferenças genotípicas verificadas entre as duas espécies estudadas. Nogueira et al. (2001) trabalhando com dois genótipos de pitangueira (*Eugenia uniflora* L.), sob condições de deficiência hídrica, também verificaram diferenças genotípicas no

potencial da água foliar. Valores de  $\Psi_{fol}$  semelhantes aos verificados neste trabalho foram obtidos por Nogueira (2002), em folhas de planta de carambola (*averrhoa carambola*) e por Rieger (1992), em folhas de laranjeiras (*citrus sp*), submetidas a déficit hídrico. Entretanto, as maiores reduções nos valores de CRA e  $\Psi_{fol}$ , observadas em *K. ivorensis*, podem ter beneficiado essa espécie, uma vez que tais reduções podem estar associadas ao aumento na concentração intracelular de osmólitos.

O acúmulo de solutos osmoticamente ativos nas células, faz com que o potencial osmótico e o potencial hídrico da planta abaxiem mais rapidamente que o do solo, aumentando o gradiente de potencial hídrico (TURNER; JONES 1980) e possibilitando a planta absorver mais água. Assim, a adaptação ecofisiológica de *K. ivorensis* às condições ambientais da região pode ser considerada boa, visto o desempenho dessa espécie quanto a transpiração, condutância estomática, crescimento do caule em diâmetro, concentração foliar de N , P e clorofila **a**, serem superiores que em *S. macrophylla* (Figura 6, 9 e 12; Tabelas 9).

A semelhança do que ocorreu com *E* e *gs*, o CRA e o  $\Psi_{fol}$ , no período chuvoso, foram fortemente dirigidos pelas variáveis ambientais (Figura 7), visto os altos coeficientes de correlações existentes entre estas variáveis e a UR, RFA,  $T_{ar}$  e  $DPV_{FA}$ . (Tabela 6). Mas, no período seco, somente o  $\Psi_{fol}$  foi dirigido pelas variáveis do ambiente.

Conceitualmente, o potencial hídrico ao amanhecer expressa um valor de equilíbrio entre o potencial hídrico do solo e o da planta, uma vez que durante a noite o potencial hídrico da planta tende a se equilibrar com o potencial hídrico das zonas úmidas do solo (NILSEN; ORCUTT, 1996).

Sob condições naturais, o desenvolvimento da deficiência hídrica se dá geralmente de maneira gradual. Em razão disso, alguns mecanismos adaptativos, como acúmulos de substâncias osmoticamente ativas nas células e posterior abaixamento do potencial osmótico, ou não ocorrem ou se manifestam com menor intensidade (JONES; RAWSON, 1979; MARTIN et al., 2004). No presente estudo, os valores inferiores do CRA e  $\Psi_{fol}$ , devido à baixa disponibilidade hídrica do solo, no período seco, podem indicar uma estratégia de ajuste osmótico utilizada pelas plantas, onde há redução no potencial hídrico para que haja absorção de água mais efetiva e manutenção da turgescência das células no tecido foliar.



Costa e Marengo (2007) trabalhando com árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*) observaram uma queda acentuada no potencial hídrico foliar, ao longo do dia, refletindo as variações diurnas da temperatura do ar e do DPV.

Morais et al. (2007) avaliaram os cursos diários e sazonais do potencial hídrico foliar em várias espécies constituintes de sistema agroflorestal, nos períodos chuvoso e seco, na Amazônia Central e mostraram que essa variável foi significativamente alterada pelo regime hídrico. Mostraram também que, mesmo no período chuvoso amazônico as plantas apresentaram uma redução do  $\Psi_{fol}$  ao longo do dia, sendo mais expressivo para as plantas no período seco; em tal período, os valores do  $\Psi_{fol}$  obtidos ao meio dia (-3,0 MPa) e as 5 horas (-1,0 MPa) mostraram que *S. macrophylla*, dentre as espécies estudadas, foi a que apresentou os menores valores. Os autores concluíram que os elevados valores do  $\Psi_{fol}$  no horário de antemanhã, mesmo no período seco, indicaram que não houve limitação severa de água no solo do sistema agroflorestal e, que *S. macrophylla* mostrou ser a espécie mais susceptível ao estresse hídrico.

Resultados equivalentes foram observados para *S. macrophylla* submetidas a 20 dias de suspensão de rega, cujos valores diários de  $\Psi_{fol}$  foram inferiores a -3,0 MPa (CORDEIRO et al, 2009). Resultados semelhantes àqueles supracitados foram obtidos por Barbiero; Franco e Goldstein (2000), que também na estação seca encontraram diferenças significativas no  $\Psi_{fol}$  de duas espécies lenhosas típicas do cerrado, *Rapanea guianensis* e *Roupala montana*, em que as curvas diárias de potencial hídrico foliar, para as duas espécies, iniciaram apresentando um potencial hídrico de -0,7 MPa, no começo da manhã, diminuído ao longo do dia, e atingindo os valores mínimos entre 13 e 15 horas (-2,11 e -2,49 MPa, respectivamente).

De forma comparativa, os padrões de comportamento diário das variáveis biofísicas, obtidos para *S. macrophylla* e *k. ivorensis*, neste experimento, assemelham-se àqueles observados por Moraes et al. (2007), em que, no período chuvoso, a transpiração, a condutância estomática, o potencial hídrico foliar e o conteúdo relativo de água das folhas foram mais fortemente afetados pelos fatores ambientais. Enquanto no período seco, essas variáveis foram mais afetadas pela disponibilidade de água do solo.

A abertura estomática pode ser favorecida pelo acúmulo de substâncias osmoticamente ativas nas células guardas, diminuindo o potencial osmótico e o

potencial hídrico destas células. Além do importante papel na abertura estomática, esses compostos podem atuar também no ajuste osmótico.

Quando os estômatos se fecham, numa situação de estresse hídrico, por exemplo, o acúmulo de sacarose, prolina e outras substâncias passa ser feito, não somente nas células guardas, mas nas células do parênquima como um todo. Isto favorece a diminuição do potencial osmótico, logo do potencial hídrico da folha e, em última análise, dirige a absorção de água na tentativa de permitir a manutenção do *status* hídrico foliar, mesmo sob baixa *gs* (BIANCHI et al., 2005; ASHRAF; FOOLAD, 2007).

As respostas dos estômatos ao potencial de água da folha dependem também da espécie, da velocidade de desenvolvimento do estresse e da adaptação das plantas ao déficit hídrico do solo (TURNER, 1986; MAGALHÃES FILHO et al., 2008). Quando a taxa de desenvolvimento do estresse é lenta, a *gs*, na maioria das espécies de plantas, decresce quase linearmente com o potencial de água das folhas, enquanto uma imediata resposta é observada, em plantas, onde o desenvolvimento do estresse é rápido (TURNER, 1986).

Além disso, quando o desenvolvimento do estresse é lento, as plantas têm a oportunidade de se adaptar a essa condição pela acumulação ativa de solutos nas folhas. Este ajustamento osmótico resulta no fechamento dos estômatos, porém, ocorrendo em menor intensidade que em plantas onde o desenvolvimento do estresse hídrico é rápido (TURNER; JONES, 1980; LUDLOW; FISHAER; WILSON, 1985), sendo este, capaz de promover acúmulo de substâncias osmoticamente ativas nos tecidos vegetais e posterior abaixamento do potencial osmótico (SALISBURY; ROSS, 1992; BLUM; ZHANG; NGUYEN, 1999; TAIZ; ZEIGER, 2009).

O que se observou no presente estudo foi um lento e progressivo déficit de água do solo, do período chuvoso para o período seco, pois a precipitação pluviométrica, em 2007, atingiu a média de 295 mm, no período chuvoso (jan-jul), passando para 109 mm, no período de transição (ago) e alcançou apenas 35 mm no período seco (set-nov) (Figura 3A). Assim, pode-se supor que o aumento significativo nos teores de carboidratos solúveis totais (CST), sacarose, prolina livre e aminoácidos solúveis totais (AST), encontrados no período seco (Tabela 8), foram resultantes da acumulação ativa desses compostos.

A deficiência hídrica promoveu aumento de todos os compostos estudados (Tabela 8), exceto amido que diminuiu (Figura 8); mas estes aumentos foram diferenciados entre as espécies. Assim, *K. ivorensis* concentrou mais prolina e aminoácidos, enquanto *S. macrophylla*, mais carboidratos solúveis totais e sacarose.

Estas variações observadas devem-se, possivelmente, as diferenças genotípicas verificadas entre as espécies estudadas, visto que mesmo no período chuvoso, as espécies também apresentaram diferentes e significativas concentrações dessas substâncias, embora em menores proporções (Tabela 8). Carvalho (2005), trabalhando com paricá (*Schizolobiu amazonicum*) e guapuruvu (*Schizolobiu parahyba*), sob condições de deficiência hídrica, também verificou diferenças genotípicas nas concentrações de aminoácidos, prolina e açúcares solúveis totais.

Os grupos de substâncias relacionadas à manutenção do *status* hídrico foliar, pelo ajustamento osmótico, determinados neste experimento (CST, sacarose, prolina e AST), que tiveram aumentos mais expressivos, induzidos pelo déficit hídrico, foram os da sacarose e os da prolina; sendo que *K. ivorensis* acumulou cerca de 2,6 vezes mais sacarose e 6,5 vezes mais prolina que no período chuvoso; enquanto *S. macrophylla* acumulou 1,7 vezes mais sacarose e 3,1 vezes mais prolina, nas mesmas condições (Tabela 7).

Na maioria das plantas, a sacarose é o principal açúcar exportado dos locais de síntese (folhas) para as regiões de consumo (caule, gemas vegetativas, raízes e órgãos reprodutivos), onde é utilizada para o crescimento e/ou armazenamento. As hexoses liberadas a partir da hidrólise de sacarose podem ser utilizadas em processos anabólicos ou catabólicos e também fornecendo açúcares para o processo de ajustamento osmótico. Dentre as enzimas que participam dessa hidrólise, as invertases parecem ser mais ativas do que a sacarose sintase (KINGSTON-SMITH; WALKER; POLLOCK, 1999; MOLLE, 2007).

Marur (1999) verificou que em algumas variedades de plantas de algodoeiro, submetidas ao estresse hídrico, ocorreu um ajustamento osmótico como conseqüência do acúmulo de solutos no simplasto, apresentando um aumento no teor de açúcares que se mostrou associado à diminuição do potencial hídrico. O acúmulo de sacarose em resposta do déficit hídrico foi também observado para *Swietenia macrophylla* (CORDEIRO, 2007) e *Sorghum bicolor* (OLIVEIRA NETO, 2008).

A prolina é um aminoácido caracterizado pela presença de um grupo imino, e por essa razão, chamado por alguns autores de iminoácido. Ao se acumular no citosol, atua diminuindo o potencial osmótico da folha e conseqüentemente seu potencial hídrico, favorecendo a absorção de água, mesmo sob baixa condutância estomática, pois aumenta a magnitude do gradiente de potencial hídrico da planta.

Nogueira et al. (2001) trabalhando com *Malpighia emarginata* e Cordeiro (2007) trabalhando com *Swietenia macrophylla* registraram incrementos na concentração de prolina foliar após 20 dias de déficit hídrico. Carvalho (2005) trabalhou com plantas de *S. amazonicum* e *S. parahyba* submetidas à deficiência hídrica, por dois ciclos de deficiência hídrica diferentes: um primeiro de seis dias (com redução de  $\Psi_{am}$  para cerca de -1,4 a -2,0 MPa), seguido-se de reidratação por três dias, e um segundo ciclo de desidratação por nove dias, com redução mais branda do  $\Psi_{am}$ . Foi observado que no primeiro ciclo de desidratação, as plantas jovens de *S. amazonicum* apresentaram um acúmulo de prolina sensivelmente maior (irrigadas = 1,23 g cm<sup>-2</sup> e não-irrigadas = 1,50 g cm<sup>-2</sup>) que as plantas de *S. parahyba* (irrigadas = 1,01 g cm<sup>-2</sup> e não-irrigadas = 1,42 g cm<sup>-2</sup>). Teores significativos foram também verificados nas duas espécies, no segundo ciclo de déficit hídrico. Além da prolina, foram evidenciados no mesmo experimento, incrementos significativos nos teores foliares de aminoácidos solúveis totais e carboidratos solúveis totais.

Outros autores encontraram significativo acúmulo de prolina em resposta ao déficit hídrico, como em *C. pyramidalis* (SILVA et al., 2004), *Sorghum bicolor* (OLIVEIRA NETO, 2008), *Zea mays* (ARRAZATE et al., 2005), *Cajanus cajan* (MARIN et al., 2006) e *Saccharum officinarum* (RHEIN, 2008).

De modo geral, as plantas expostas aos diversos tipos de estresse ambiental, notadamente o estresse hídrico, podem apresentar acúmulo de prolina que tem sido associado à tolerância das plantas a essa condição adversa, podendo representar um mecanismo regulador da perda de água, mediante o aumento da osmolaridade celular (WILLIAMSON; SLOCUM, 1992; DELAUNEY; VERMA, 1993; HARE; CRESS, 1997; FUMIS; PEDRAS, 2002).

Neste experimento, o maior acúmulo de prolina verificado no período seco, pode ter ajudado induzir a queda brusca do  $\Psi_{fol}$  de -0,8 MPa, no início da manhã, para -3,01 MPa, ao meio dia (Figura 7). Segundo Pálfi e Juhász (1971) sob iguais condições de déficit hídrico, variedades resistentes à seca sintetizam mais prolina que as menos resistentes.

Trabalhando com duas variedades de amendoim, Nogueira et al. (1998) verificaram alta concentração de prolina na variedade resistente à seca, mesmo quando cultivada em solo sem deficiência hídrica. No presente estudo foi observado que, tanto no período chuvoso quanto período seco, *K. ivorensis*, acumulou mais prolina (13,16 e 85,55 mg g<sup>-1</sup>, respectivamente) que *S. macrophylla* (7,97 e 24,82 mg g<sup>-1</sup>, respectivamente), demonstrando estar adaptada as condições edafoclimáticas amazônicas, embora seja uma espécie de origem africana.

Sabe-se que em plantas sob déficit hídrico, o acúmulo de carboidratos solúveis totais (CST) na folha, principalmente os de baixo peso molecular, pode resultar da hidrólise das reservas de amido e subseqüentes reações de isomerização da glicose, bem como de distúrbios causados pela deficiência de água nos tecidos do floema, reduzindo a sua translocação para outros órgãos (COSTA, 1999; SUBBARAO; CHAUHAN; JOHANSEN, 2000; MARENCO; GONÇALVES; VIEIRA, 2001; FEEREIRA et al., 2002). Esses compostos promovem a manutenção da turgescência, mesmo com a diminuição do potencial hídrico foliar, garantindo a expansão celular e o crescimento (NILSEN; ORCUTT, 1996).

Os teores de carboidratos solúveis totais, no período seco, exibidos pelas espécies (*S. macrophylla* 43,33 mg g<sup>-1</sup> e *K. ivorensis* 23,50 mg g<sup>-1</sup> a mais que no período chuvoso), (Tabela 8), permitem inferir que as variações nos teores de CST, naquele período, foram sensivelmente influenciadas pelo regime hídrico.

O acúmulo de carboidratos simples foi também observado em plantas de *Gossypium hirsutum* submetidas ao déficit hídrico. Nessas plantas, tanto o  $\Psi_w$  quanto  $\Psi_s$  foram significativamente afetados pelo período seco, independentemente da cultivar em questão. As reduções no  $\Psi_w$  e no  $\Psi_s$  foram acompanhadas de incrementos de duas a cinco vezes nos teores de glicose e sacarose (TIMPA, et al., 1986). Aumentos nos teores de CST foram também observados em folhas de *Medicago sativa*, como resposta ao déficit hídrico. Os teores de CST foram de 90 mg g<sup>-1</sup> MS para um potencial hídrico de -1,5 MPa e de 170 mg g<sup>-1</sup> para um potencial hídrico de -2,8 MPa (IRIGOYAN, 1992).

Em plantas sob condições de seca, o aumento específico de aminoácidos é geralmente correlacionado com a adaptação ao déficit hídrico (VAN HEERDEN; KRUGER, 2002; PINHEIRO; PASSARINHO; RICARDO, 2004).

Analisando a concentração de aminoácidos na seiva do floema de plantas de alfafa submetidas a estresse hídrico, Girousse; Bournoville e Bonnemain (1996) observaram que a concentração desses aminoácidos foi maior quando o potencial hídrico reduziu de -1,0 para -2,0 MPa, sugerindo que os mesmos poderiam ser transportados para os tecidos meristemáticos, com a finalidade de contribuir com o ajustamento osmótico dos tecidos em crescimento.

Os acúmulos dos aminoácidos e açúcares livres podem ser decorrentes da restrição à síntese de proteínas e da hidrólise das reservas de amido, bem como de distúrbios causados pela deficiência de água nos tecidos do floema, reduzindo a sua translocação para outros órgãos (COSTA, 1999; SUBBARAO; CHAUHAN; JOHANSEN, 2000; FEEREIRA et al., 2002). Esses compostos, além de proporcionarem vantagens, do ponto de vista do abaixamento do potencial osmótico e da manutenção da turgescência, servem de reservas de carbono e nitrogênio para a imediata retomada do crescimento, uma vez que as tensões ambientais sejam aliviadas (NILSEN; ORCUTT, 1996; SZEGLITES et al., 2000).

No presente trabalho, os teores de aminoácidos solúveis totais (AST), influenciados pelo déficit hídrico, foram aumentados em 138%, para *K. ivirensis*, e em 113%, para *S. macrophylla*, (Tabela 8). Esses aumentos expressivos em AST livres podem estar associados ao abaixamento do potencial osmótico e manutenção da turgescência das plantas.

Os teores de aminoácidos solúveis totais e de prolina também foram influenciados pela adubação potássica, no período seco, (Tabela 8). Nesse período, o acúmulo de AST com o tratamento controle (sem aplicação de KCl no solo), foi de 13,14 mg g<sup>-1</sup>; com os tratamentos 200 e 400 g/p, foi, em média, de 21,41 mg g<sup>-1</sup> e com o tratamento 600 g p<sup>-1</sup>, foi de 27,62 mg g<sup>-1</sup>, em relação ao período chuvoso.

Separando-se o efeito do déficit hídrico (13,14 mg g<sup>-1</sup>), foi verificado um incremento significativo, porém modesto, da adubação potássica nos teores de AST das folhas. A mesma tendência foi observada para prolina, em que as maiores doses de KCl (400 e 600 g p<sup>-1</sup>) aumentaram o teor médio de prolina em 8,56 mg g<sup>-1</sup>, indicando ser o déficit hídrico quem, realmente, promove maiores acúmulo dessas substâncias (Tabela 8).

A elevada atividade das proteases em plantas sob deficiência hídrica promove a degradação das proteínas de reserva, aumentando o teor de AST, no intuito de se ajustar osmoticamente ao meio estressante (PINHEIRO; PASSARINHO; RICARDO,

2004). Aumento nos teores de AST também foi obtido por Nath; Kumari e Sharma (2005), em plantas estressadas de pimentão (*Capsicum annum*).

Claussen (2005) verificou aumento do teor de prolina nas folhas do tomateiro, com o aumento da concentração de fertilizantes N, P, K na solução nutritiva e demonstrou haver estreito relacionamento desse aumento com o conteúdo de água das folhas.

Blanco; Folegatti e Henriques Neto (2008) estudando os efeitos do N e K na concentração de nutrientes e prolina nas folhas do tomateiro, sob estresse induzido, verificaram que o aumento da dose de K<sub>2</sub>O aplicada, aumentou o teor de K e prolina nas folhas do tomateiro. Os autores concluíram que o aumento do teor de prolina com as doses de K, sugere que o aumento na adubação potássica pode ser benéfico para o tomateiro sob estresse ambiental.

Tem-se sugerido que o acúmulo de putrescina nas folhas ocorre em resposta à deficiência de K em plantas sob estresse ambiental, ou não (HARBORNE, 1977; SILVEIRA; MALAVOLTA; BROETTO, 2001). Uma vez que tanto a putrescina quanto a prolina são formadas a partir do glutamato (THOMPSON, 1980), então a redução na síntese de putrescina com o aumento da absorção de K pode favorecer a síntese de prolina, o que explicaria o aumento no teor desse aminoácido nas folhas, com as maiores doses de K.

A prolina desempenha um papel importante na proteção de plantas expostas a estresses abióticos, conferindo ajuste osmótico junto ao aumento no conteúdo de outros osmólitos. Como sua quantidade, muitas vezes, representa uma porção muito pequena do ajuste osmótico, outras funções sugeridas para a prolina são a desintoxicação de espécies reativas de oxigênio e interação com resíduos de proteínas hidrofóbicas. Além disso, a prolina e outros osmólitos podem atuar como moléculas sinalizadoras ou reguladoras, capazes de ativar múltiplas respostas do processo de adaptação a estresses ambientais (MAGGIO et al., 2002).

Os teores de aminoácidos solúveis totais e prolina promovidos pelo estresse hídrico e pela adubação potássica, obtidos no presente estudo, foram elevados; tais valores sugerem a atuação destes osmólitos no ajustamento osmótico das espécies estudadas.

A redução nos teores de amido observada na Figura 8 pode ser decorrente da hidrólise das reservas deste polissacarídeo para produção de açúcares livres (SUBBARAO; CHAUHAN; JOHANSEN, 2000; PIMENTEL, 2004.), com vistas a promoção do abaixamento osmótico e manutenção da turgescência celular, bem como para servirem de reserva de carbono para a imediata retomada do crescimento logo que as tensões ambientais forem amenizadas (NILSEN; ORCUTT, 1996; SZEGLITES et al., 2000).

A redução nos teores de amido, no período seco, também pode estar relacionada à diminuição da taxa fotossintética, reduzindo a fixação de CO<sub>2</sub> atmosférico (MITRA, 2001), pois a falta de água promove o fechamento estomático pela diminuição da *gs*. Foram também observadas diferenças significativas quanto às quantidades de amido armazenado pelas duas espécies estudadas, independente das doses de KCl e do período climático (Figura 8).

No presente trabalho, foi observado em ambos os períodos climáticos, maior transpiração e condutividade estomática em *K. ivorensis* (Figuras 5 e 6), embora não seja verificado diferença significativa entre estas variáveis, no período seco; bem como maior abaixamento do potencial de água da folha (Tabela 5), em comparação com *S. macrophylla*. Esses resultados sugerem que *K. ivorensis* possa ter sintetizado mais amido ao longo do ano (Figura 8).

Em condições de estresse hídrico, vários processos fisiológicos são alterados, tais como: fotossíntese, respiração, transpiração, abertura estomática, produção de ácido abscísico, abscisão foliar e ajuste osmótico (MARIN et al., 2006). Dentro desse contexto, os resultados obtidos neste trabalho, permitiram inferir que as espécies *K. ivorensis* e *S. macrophylla* apresentaram acúmulo de solutos, com reflexos no abaixamento do potencial osmótico, como uma resposta ao estresse hídrico, caracterizando um ajustamento osmótico. Este mecanismo é, provavelmente, uma das estratégias que, atuando em conjunto com outros fatores, permitem às espécies sobreviverem em condições estressantes que ocorrem em seu ambiente natural. Isto explica os altos valores de CRA, para as duas espécies, mesmo sob  $\Psi_{fol}$  bastante negativo, como observado no período seco (Tabela 5).



O maior teor de clorofila **a** encontrados em folhas de *K. ivorensis* (Figura 9), pode estar relacionado ao maior metabolismo do N (Tabela 9), verificado nessa espécie. De acordo com Ismael (2001), em seu trabalho com níveis de estresse hídrico e níveis de nitrogênio em plantas de *Eucalyptus grandis*, os maiores teores de clorofila foram obtidos nas plantas submetidas ao maior estresse dentro das doses de 100 e 200 mg dm<sup>-3</sup> de N. O autor constatou também que os valores de clorofila aumentaram em função das doses de N fornecidas às plantas, com e sem deficiência hídrica. Considerando as observações daquele autor, pode-se sugerir que o maior teor de clorofila encontrado sob estresse hídrico severo ou não, pode estar relacionado ao maior teor de N encontrado nas folhas das plantas.

As reduções nos teores dos pigmentos (Cl<sub>a</sub>, Cl<sub>b</sub>, Cl **a+b**) pelo déficit hídrico, observadas nas Figuras 9 e 10, podem estar relacionadas a formação de substâncias oxidantes que podem destruir os pigmentos de plantas submetidas a deficiência hídrica severa.

Oliveiro Neto (2008) submeteu plantas de *sorghum bilocor* a 15 dias de suspensão hídrica e observou redução nos teores de todos os pigmentos fotossintetizantes, atribuindo essas reduções as possíveis desordens metabólicas na planta causadas pelo estresse hídrico. Nautiyal; Neigi e Kumar (1996) verificaram em plantas de *Pongamia pinnata*, submetidas a intervalos de irrigação de 30 dias, rápida redução nos teores de clorofila, indicando que condições severas de estresse hídrico têm efeito adverso sobre o teor desse pigmento.

Segundo Rey et al., (1999), sob condições moderadas de estresse hídrico há redução na assimilação fotossintética de CO<sub>2</sub> devido ao aumento da resistência à difusão de CO<sub>2</sub>, em consequência do fechamento estomático. A deficiência hídrica severa, por outro lado, favorece a formação de espécies reativas de oxigênio que danificam as plantas, oxidando pigmentos fotossintéticos, lipídeos de membrana, proteínas e ácidos nucleicos. Decréscimos nos teores de clorofila podem, portanto, ser sintoma característico de estresse oxidativo, e tem sido verificado em plantas sob estresse hídrico (SMIRNOFF, 1995; SIRCIEJ, et al., 2005).

Apesar da destruição de pigmentos fotossintéticos, devido a dano oxidativo, ser sintoma comum em plantas expostas a estresse hídrico severo, as plantas podem, segundo Egert e Tevini (2002), proteger-se sintetizando antioxidantes (carotenóides, ascorbato, α-tocoferol, glutathiona e flavonóides) e aumentar o teor de enzimas antioxidantes (peroxidases, superóxido dismutase e catalases).

Os resultados obtidos no presente estudo mostram que, sob estresse hídrico, *K. ivorensis* apresentou maior teor de clorofilas, bem como maior teor de carotenóides, sugerindo estar bem adaptada às condições secas que *S. macrophylla*.

Os teores médios de N e P para *K. ivorensis* (26,7; 1,70 g kg<sup>-1</sup>) e *S. macrophylla* (22,5; 1,1 g kg<sup>-1</sup>), nas folhas, podem ser considerados adequados para o desenvolvimento dessas espécies com 20 meses de idade (Tabela 9).

Malavolta; Vitti e Oliveira (1997) citam os teores de macro nutrientes nas folhas, que em geral, são considerados adequados para essências florestais (Tabela 1).

Lima Junior (2005), avaliando o crescimento e a absorção de nutrientes em mudas de *S. macrophylla* com seis meses de idade, observou os maiores teores de N (16,30 g kg<sup>-1</sup>) e de P (1,82 g kg<sup>-1</sup>) nas folhas quando aplicou 3,2 t/ha de calcário.

Gonçalves et al. (2005), também trabalhando com *S. macrophylla*, com 3 anos de idade, encontraram teores de N e P da ordem de 18,1 e 1,8 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Em um sistema silvipastoril com leguminosa e revestimento natural, em Igarapé Açu-PA, Falesi e Baena (1999) verificaram que plantas de *K. ivorensis*, com 2 anos de idade, apresentaram bom desenvolvimento vegetativo sem sintomas visuais de deficiência nutricional, quando os teores foliares de N e P foram, respectivamente, 18,1 e 1,8 g kg<sup>-1</sup>.

É do conhecimento geral que cada material genético tem habilidade diferenciada na absorção de nutrientes. Além disso, considerando a diversidade ambiental encontrada nas regiões de origem das espécies estudadas, é esperado ocorrer diferenciação quanto à eficiência de absorção e utilização dos nutrientes por essas espécies. Diferenças entre espécies arbóreas na atividade fotossintética é função do grau de abertura dos estômatos e da capacidade de carboxilação, que é afetado pela concentração de nutrientes nas folhas (PEIXOTO, 2007).

Diferenças na absorção de N e P entre espécies podem ser intensificadas durante o período seco (FRANCO et al., 2005). De fato, *K. ivorensis* difere de *S. macrophylla* na intensidade transpiratória, na condutância estomática (Figuras 5 e 6) e nos teores de pigmentos (Figuras 9 e 10). Essas diferenças na abertura estomática e nos teores de pigmentos favorecem a planta absorver mais CO<sub>2</sub> e energia solar e, conseqüentemente, nutrientes minerais como N e P. Assim, o crescimento vegetativo mais vigoroso de *K. ivorensis*, representado por maior ganho em diâmetro

de caule (Figura 12), que de *S. macrophylla* demandou quantidades maiores de nutrientes por essa espécie, contribuindo, possivelmente, para maior absorção de N (16%) e de P (38%) (Tabela 9).

A absorção elevada de Na por *S. macrophylla* em cerca de 50% maior que por *K. ivorensis* (Tabela 9), pode estar relacionada a existência de uma possível competição por sítio de absorção entre estes cátions monovalentes K e Na (MALAVOLTA, 1980).

Schachtman e Schroeder (1994) assumiram a existência de um mecanismo comum de absorção de K e Na em plantas superiores, o qual seria regulado pelas concentrações desses nutrientes no substrato; então, níveis elevados de K poderiam modular a absorção e o transporte de Na e limitar os danos atribuídos a este íon.

Kafkafi; Valoras e Letey (1982) observaram redução dos teores de Na nas folhas do tomateiro com o aumento das doses aplicadas de K. Por outro lado, altas concentrações de Na geralmente inibem a absorção de K pelas plantas (TESTER; DAVENPORT, 2003).

Considerando que as duas espécies foram cultivadas num solo com os mesmos teores de potássio e sódio e que não houve correlação significativa entre esses nutrientes (Tabela I em apêndice), o fato de os teores de Na terem sido muito superiores em *S. macrophylla*, demonstra a alta capacidade das folhas desta espécie em acumular aquele íon. Portanto, maior absorção de N e P e menor de Na por *K. ivorensis*, observado no presente estudo, deve ser atribuída ao caráter genético distinto existente entre as espécies estudadas.

As interações entre K e Ca e entre K e Mg, no solo (Tabela 11), promoveram variações significativas nos teores desses nutrientes, tanto nas folhas de ambas as espécies estudadas como no solo (Tabelas 10 e 12). Considerando-se que o teor de K das folhas variou de 3,6 a 22,1 g kg<sup>-1</sup>, entre a testemunha e a maior dose de KCl, sem ser notado sintomas de deficiência desse nutriente; considerando-se também que o teor máximo de K, calculado através dos dados ajustados pelas equações de regressão (Figura 11), foram de 16,7 g kg<sup>-1</sup> para *S. macrophylla* e de 24,6 g kg<sup>-1</sup> para *K. ivorensis*; considerando-se ainda os teores de K nessas espécies encontrados por vários autores (Tabela 1), pode-se inferir que o teor de K considerado adequado para o desenvolvimento vegetativo das plantas, neste estudo, situa-se entre 12-13 g kg<sup>-1</sup> na folha, obtido com a dose anual de 200 g p<sup>-1</sup> para as duas espécies.

A redução em até 40% nos teores de Ca e em até 58% nos teores de Mg, nas folhas de ambas as espécies, em relação a testemunha (Tabela 10), é atribuída, em parte, a adubação potássica (Tabela 12). As análises de correlações lineares (Tabela 1) mostram que os teores de Ca e Mg nas folhas, foram significativamente influenciados pela aplicação de K no solo, indicando que a redução nos teores desses nutrientes é influenciada negativamente pela presença de K. Esta correlação negativa pode ser confirmada pelo alto coeficiente de correlação entre K x Ca e K x Mg (Tabela 11), para essas espécies.

Marschner (1995) relata que cátions como o potássio podem atravessar a membrana plasmática com maior velocidade, diminuindo a absorção de cátions mais lentos como Ca e Mg.

A absorção preferencial do íon  $K^+$  ocorre por ser monovalente e de menor grau de hidratação, quando comparado aos divalentes (KABATA; PENDIAS, 1984). Schonau (1981) ao estudar o efeito da aplicação de fertilizantes sobre os teores foliares dos nutrientes, em *E. grandis*, verificou que a aplicação de K reduzia os teores de Ca e não afetava os de Mg, enquanto que a fertilização fosfatada e a aplicação de calcário diminuía os teores de K nas folhas.

Em *E. fatigata*, com 3 anos de idade, Knight (1988) verificou correlações significativas e negativas entre a concentração de potássio e a de cálcio ( $r = -0,70$ ) e a de magnésio nas folhas ( $r = -0,84$ ).

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) (Tabela 11) indica que 95 a 99% da variação nos teores de K, Ca e Mg das folhas, pode ser atribuída à variação nos teores de K do solo.

O teor mínimo de cálcio ( $7,84 \text{ g kg}^{-1}$ ), para ambas as espécies, e de Mg ( $0,86 \text{ g kg}^{-1}$  para *K. ivorensis* e  $2,44 \text{ g kg}^{-1}$  para *S. macrophylla*) na matéria seca das folhas (Figura 11), foi calculado através dos dados ajustados pelas equações de regressão. Comparando-se esses teores mínimos com a variação nos teores foliares de Ca e Mg da Tabela 13, é verificado que a variação de Ca ( $7,47$  a  $12,57 \text{ g kg}^{-1}$ ) contempla a necessidade mínima ( $7,84 \text{ g kg}^{-1}$ ) desse nutriente exigida pelas plantas; a variação no teor foliar de Mg ( $3,98$  a  $2,08 \text{ g kg}^{-1}$ ) em *S. macrophylla* esta acima do teor mínimo de Mg exigido ( $0,86 \text{ g kg}^{-1}$ ); mas o teor mínimo de Mg ( $2,44 \text{ g kg}^{-1}$ ) exigido por *K. ivorensis*, só foi contemplado com o tratamento testemunha (Tabela 10), indicando que a adubação potássica pode induzir deficiência desse nutriente, naquela espécie. De fato, a redução dos teores de Mg com as doses 400 e 600 g p<sup>-1</sup>

<sup>1</sup>, promoveu amarelecimento entre as nervuras das folhas mais velhas de *K. ivorensis*, caracterizando sintoma de deficiência de magnésio. Em todos os tratamentos, não foi observado sintoma de deficiência de Ca nas folhas das plantas.

Os teores foliares de Ca (8,5 a 9,2 g kg<sup>-1</sup>) e Mg (1,1 a 2,7 g kg<sup>-1</sup>), obtidos no presente estudo com a dose 200 g p<sup>-1</sup> (Tabela 10), são similares àqueles encontrados por Sharma (1983) e Gonçalves et al. (2005), em folhas de *K. ivorensis* e *S. macrophylla*, mas são inferiores aos obtidos por Falesi e Baena (1999), em folhas de *K. ivorensis* (Tabela 1).

O aumento nos teores de K no solo (Tabela 12), se deveu as doses crescentes de KCl aplicadas ao solo, enquanto o aumento nos teores de Ca e Mg deveu-se, possivelmente, a interação negativa entre K x Ca e K x Mg (Tabela 11), ou seja, o teor elevado de K no solo promoveu, provavelmente, diminuição na absorção de Ca e Mg pela planta, aumentando a concentração desses nutrientes no solo. Vários autores observaram correlação negativa entre K x Ca e K x Mg, causando diminuição da absorção de Ca e Mg do solo pela planta (SCHONAU, 1981; KNIGHT, 1988).

De modo geral, pode-se considerar os teores, em g kg<sup>-1</sup>, de N (22-27), P (1,1-1,7), K (12-13), Ca (8-9) e Mg (1,1-2,4) na matéria seca foliar, como adequados ao desenvolvimento vegetativo das plantas de *K. ivorensis* e *S. macrophylla* com 20 meses de idade.

O Quadro das análises de variância (Tabela G em apêndice) mostra que os tratamentos não influenciaram a altura da planta, diâmetro do caule e número de folhas, tanto em 2006 quanto em 2007; mas houve interação entre períodos e espécies. A falta de resposta à adubação potássica, em condições de estresse hídrico, foi observada por vários pesquisadores em plantas de diferentes espécies de eucalipto.

Silva et al. (2004) avaliando os efeitos do manejo hídrico e da adubação potássica na qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*, concluíram que as doses de K não tiveram efeito sobre a altura das plantas e diâmetro do caule.

Novais; Rego e Gomes (1980) não encontraram tendência de aumento na altura de plantas de *E. grandis* com o aumento do nível de potássio disponível no solo. Resultados semelhantes também foram encontrados por Silveira (2000), que

não verificou efeito das doses de K e da interação dose de K x espécies na altura de plantas de quatro espécies de *E. grandis*.

Os maiores ganhos em altura de planta, diâmetro do caule e número de folhas, no período chuvoso e de transição, devem ser atribuídos a disponibilidade de água no solo que não restringiu o crescimento das plantas nesses períodos, embora no decorrer do período de transição as chuvas tivessem diminuído (Figura 3A).

Segundo Taiz e Zeiger (2009), para um bom desenvolvimento vegetal, é indispensável a presença de suficiente quantidade de água no solo, pois esta funciona como solvente de nutrientes do solo e como meio de transporte de nutrientes para a planta.

Estudando a demanda de luz, água e nutrientes em *S. macrophylla*, *C. odorata* e *C. guianensis*, de um a oito anos de idade, Dünisch et al (2002) verificaram que a fotossíntese líquida de *S. macrophylla* dependeu fortemente do elevado teor de água do solo. Verificaram também que a absorção de K por *S. macrophylla* e *C. odorata*, dependeu de um alto teor de água do solo, enquanto *C. guianensis* absorveu quantidades consideráveis de K, também em solos secos.

Falesi e Baena (1999) observaram maior velocidade de crescimento de plantas de *K. ivorensis* com 24 meses, no período chuvoso do município de Igarapé Açu. Os autores verificaram, no período chuvoso, ganhos de até 130% na altura da planta e de até 55% no DAP, enquanto no período seco, os ganhos não foram além de 34% em altura e de 14% no DAP.

Alvarenga et al. (1994) encontraram um aumento superior a 65% na altura de plantas de *E. grandis*, quando compararam plantas sob condições hídricas favoráveis (capacidade de campo) e plantas submetidas a um regime hídrico severo (potencial de água no solo de -1,5 MPa).

Carvalho et al. (2003) verificaram reduções de 16% na altura de plantas de Artemísia (*Tanacetum parthenium*), crescidas a 50% da capacidade de campo, em relação àquelas crescidas a 90% da capacidade de campo. Por outro lado, a drástica redução da atividade fisiológica observada no período seco, pode ser diretamente atribuída a escassez de água do solo, que diminuiu fortemente as variáveis fisiológicas  $g_s$ ,  $E$ , CRA e  $\psi_{fol}$ , (Figuras 5, 6 e 7), ou pode ter promovido mudanças nos teores de fitormônios produzidos pelas raízes (TURNER, 1996; TAIZ; ZEIGER, 2009).

Segundo Kudrev (1994), a deficiência hídrica interrompe o processo de

crescimento, não apenas diminuindo o acúmulo de massa fresca e seca da planta, mas também alterando o processo de crescimento e acelerando os processos catabólicos. De fato, a significativa redução do número de folhas (50% em 2006) e a paralisação do crescimento das plantas em altura e diâmetro, no período seco, devem ser atribuídas, em parte, a aceleração desses processos os quais envolvem atividades hormonais, como um mecanismo de sobrevivência à seca. Em solo seco, há evidência de que as raízes que aí se desenvolvem, sintetizam ácido abscísico (ABA) que é transportado para as folhas, pela corrente transpiratória, influenciando no mecanismo de abertura e fechamento estomático e na queda prematura das folhas (CASTRO; KLUGE; PERES, 2005; TAIZ; ZEIGER, 2009).

Correlações significativas e negativas (Tabela 13) entre teor de K e número de folhas, observadas no período seco, indicam que esse nutriente pode ter contribuído com a queda das folhas, naquele período. Uma das funções atribuídas ao K seria a de manter o pH elevado, facilitando com isso, o transporte de substâncias dentro dos vasos do xilema da planta (MALAVOLTA; CROCOMO, 1982; MARSCHNER, 1995). Essa alcalinização do pH pelo K, pode ajudar no transporte de ABA ou de seu precursor induzidos pelo estresse hídrico, da raiz para a parte aérea, bem como ajudar na distribuição desse hormônio promotor da senescência foliar, na copa das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2009). Ademais, as maiores doses de KCl no solo demonstraram tendência em reduzir o teor de clorofila das folhas (Tabela H em apêndice), um pigmento essencial para a manutenção das folhas na planta.

Correlações significativas e positivas também foram observadas entre teores de Ca da folha, altura de planta, diâmetro do caule e número de folhas (Tabela 13), indicando um possível efeito desse nutriente em amenizar os efeitos do estresse hídrico na planta. Dentre as várias funções do Ca na planta, uma é atuar como amenizador dos efeitos causados pela deficiência hídrica, através do aumento da estabilidade das membranas celulares (POOVAIAH; REDDY, 1987).

Stefanuto (2002) trabalhando com a hipótese de que o Ca atua como amenizador dos efeitos causados pelo estresse hídrico em plantas de eucalipto, verificou que a dose suplementar de Ca que mais contribuiu para a homeostase e tolerância ao estresse hídrico das plantas, foi  $7,5 \text{ mmol.L}^{-1}$  de cálcio na forma de  $\text{CaCl}_2$ .

Os estudos de Mengel e Kirkby (2001) e de Zerki (1995) mostraram que a deficiência hídrica pode reduzir as concentrações de cálcio nas plantas, o que

também podem causar uma deficiência nutricional. Todavia, o trabalho de Abdel-Basset (1998) indicou que a adição de cálcio ao substrato das plantas, reduz os efeitos da deficiência hídrica, promovendo o aumento de peso seco, conteúdo de água e clorofila. Ballester-Fernandez; Cerda e Martinez (1997) também verificaram um incremento do crescimento de plantas sob estresse hídrico após adição de Ca.

Quanto às diferenças significativas no diâmetro do caule entre *K. ivorensis* e *S. macrophylla* (Figura 12), como já discutido acima, deve ser atribuída ao caráter genético das espécies estudadas. Sasse et al. (1996) e Silva (1998) encontraram diferenças significativas nos diâmetros das plantas de eucalipto, submetidas a manejos hídricos diferenciados. As taxas de crescimento em diâmetro foram reduzidas pelo estresse hídrico, mais acentuadamente nas plantas produzidas através de estaquia (SASSE et al, 1996). No trabalho de Silva (1998), apesar das mudas apresentarem valores estatisticamente diferentes, não houve definição de tendência do efeito do nível de estresse hídrico sobre o diâmetro do caule.

Martins et al. (2008) estudaram a influência do déficit hídrico no solo, sobre a altura de planta, diâmetro do caule e número de folhas, em duas espécies de eucalipto. Verificaram que *E. saligna* foi mais tolerante à deficiência hídrica do que *E. grandis*. Concluíram que o fato da altura, diâmetro e número de folhas terem sido afetadas pelo déficit hídrico no solo, antes mesmo da transpiração, indica que deve ter ocorrido diminuição na turgescência das células antes do fechamento estomático, suficiente para afetar o metabolismo e causar redução no crescimento e desenvolvimento das plantas.

Os resultados deste estudo mostram que há diferença na resposta à deficiência hídrica do solo entre as espécies, como indicado por Sinclair; Holbrook e Zwieniecki (2005). Entretanto, *K. ivorensis* e *S. macrophylla* têm mecanismos de controle estomático para promover o decréscimo na taxa de transpiração mais cedo, em uma condição inicial de deficiência hídrica, assim como, uma redução no crescimento e desenvolvimento durante a deficiência hídrica, provavelmente como uma adaptação as condições de déficit hídrico.



## 6 CONCLUSÕES

No período seco, a adubação potássica não controla a abertura e fechamento estomático, não se constituindo, portanto, numa estratégia eficiente na manutenção do *status* hídrico foliar.

A condutância estomática e a transpiração, no período chuvoso, crescem pela manhã e decrescem a partir do meio dia, todavia, no período seco, decrescem desde as primeiras horas da manhã.

No período seco, as espécies transpiram de modo semelhante, mas no período chuvoso, *Khaya ivorensis* transpira mais que *Swietenia macrophylla*.

No período chuvoso, o DPV<sub>FA</sub> influencia o comportamento estomático de *Khaya ivorensis* e *Swietenia macrophylla*, porém mostra-se um componente de menor importância, no período seco.

O conteúdo relativo de água e o potencial hídrico foliar são menores em *Khaya ivorensis* que em *Swietenia macrophylla*, tanto no período chuvoso, quanto no período seco.

O período seco aumenta os teores foliares de carboidratos solúveis totais, sacarose, prolina e aminoácidos solúveis em *Khaya ivorensis* e *Swietenia macrophylla*.

*Khaya ivorensis*, no período seco, acumula mais clorofila **a**, clorofila **b**, clorofila **a+b** e carotenóides que *Swietenia macrophylla*.

Adubação potássica (KCl) aumenta os teores foliares de K, aminoácidos solúveis totais e prolina de *Khaya ivorensis* e *Swietenia macrophylla*, no período seco.

Folhas de *Khaya ivorensis* concentram mais N, P, e K que de *Swietenia macrophylla*.

Doses crescentes de KCl, no solo, reduzem os teores foliares de Ca e Mg em *Khaya ivorensis* e *Swietenia macrophylla*.

Teores foliares, em g kg<sup>-1</sup>, de N (22-27), P (1,1-1,7), K (12-13), Ca (8-9) e Mg (1,1-2,4) são adequados para o desenvolvimento vegetativo de *Khaya ivorensis* e *Swietenia macrophylla*, com 20 meses de idade.

A limitação de água, ocorrida no período seco, promove queda de folhas, paralisação do crescimento em altura e em diâmetro de plantas de *Khaya ivorensis* e *Swietenia macrophylla*, no primeiro ano de implantação do experimento.

*Swietenia macrophylla* é mais suscetível a seca que *Khaya ivorensis*.

## 7 REFERÊNCIAS

ABDEL-BASSET, R. Calcium channels and membrane disorders induced by drought stress in *Vicia faba* plants supplemented with calcium. **Physiologiae Plantarum**, v.20, n.2, p.149-153, 1998.

ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (Mata Atlântica) na costa leste do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.2, p.159-170, 2003.

ALVARENGA, R. C.; BARROS, N. F.; DANTAS, C. E. S., LOBÃO, D. E. V. P. Efeitos do conteúdo de água no solo e da poda de raízes sobre o crescimento de mudas de Eucalipto. **Revista Árvore**, v.18, n.2, p.107-114, 1994.

ARNON, D. I. Cooper enzymes in isolated chloroplasts polyphenaloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, v.24; p.1-15, 1949.

ARRAZATE, C. H. A.; LÓPEZ, C. T.; CASTAÑEDA, C. L.; GALÁN, M.; VARELA, A. S.; GONZÁLES, F.C. Comparación de la tolerancia a la séquia de cuatro variedades de maíz (*Zea mays* L.) y su relación com la acumulación de prolina. **Interciência** v.30, p.560-564, 2005.

ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Roles of glycine betaína and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany** v. 59, p.206-216, 2007.

AYELE, M.; BLUM, A. ; NGUYEN, H. T. Diversity for osmotic adjustement and root depth in teff [*Eragrostis tef* (Zucc) Trotter]. **Euphytica**, v.121, n.3, p.237-249, 2001.

BALLESTER-FERNANDEZ, G.; CERDÁ, G.; MARTÍNEZ, V. Role of calcium short-term responses of bean plants to osmotic or saline shocks. **Journal of Plant Physiology**, v.151, p.741-747, 1997.

BARBIERO, C. C. N.; FRANCO, B. A. C.; GOLDSTEIN, G. Fluxo de seiva e condutância estomática de duas espécies lenhosas sempre-verdes no campo sujo e cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal** v.12, p.119-134, 2000.

BARBOSA, D. C. A.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; MELO FILHO, P. A. Comparative studies of growth in three species of "caatinga" submitted to water stress. **Phyton**, v.69, p.45-50, 2000.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free prline for water-stress studies. Short communication. **Plant and soil**, v.39, p.205-207, 1973.

BELLOTE, A. F. J. ; FERREIRA, C. A. Nutrientes minerais e crescimento de árvores adubadas de *Eucalyptus grandis* na região do cerrado, no Estado de São Paulo. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n.26/27, p. 01-65, Jan/dez. 1993.

BIANCHI, C. A. M.; BERGONCI, J. I. ; BERGAMASCHI, H. ; DALMAGO, G. A. Ajuste osmótico em milho cultivado em diferentes sistemas de manejo de solo e disponibilidade hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.7, jul., 2005.

BLAD, B. L. Atmospheric Demand of Water. In: TEARE, I. D.; PEET, M.M. (Ed.) **Crop-water relations**. New York : John Wiley, 1983. p.1-44.

BLANCO, F. F.; FOLEGATTI M. V.; HENRIQUES NETO D. Doses de N e K no tomateiro sob estresse salino: Concentração de nutrientes no solo e na planta **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.12, n.1, p.26–33, 2008.

BLUM, A.; ZHANG, J. X.; NGUYEN, H. T. Consistent differences among wheat cultivars in osmotic adjustment and their relationship to plant production. **Field Crops Research**, v.64, n.3, p.287-291, 1999.

BOYER, J. S. Advance in drought tolerance in plants. **Adv. Agron.** v.56, p.187-218, 1996.

BRAY, E. A. Molecular responses to water deficit. **Plant Physiol.** v.103, p.1035-1040, 1993.

BRAY, E. A. Plant responses to water deficit. **Trends Plant Sci.** v.2, p. 48-54. 1997.

CAPELL, T.; CHRISTOU, P. Progress in plant metabolic engineering, **Curr Opin Biotechnol** v.15, p.148–154, 2004.

CARVALHO, C. J. R. Respostas de plantas de *Schizolobium amazonicum* [S. parahyba var. amazonicum] e *Schizolobium parahyba* [Schizolobium parahybum] à deficiência hídrica. **Revista Árvore** v. 29, p. 907-914, 2005.

CARVALHO, L. M.; CASALI, V. W. D.; SOUZA, M. A.; PAULO, R.; CECON, P. R. Disponibilidade de água no solo e crescimento de *Artemisia*. **Horticultura Brasileira**, v.21, n.4, p.726-730, 2003.

CARVALHO, P. E. R. **Mogno *Swietenia macrophylla***. Colombo, PR : EMBRAPA-CNPF/ Brasília: EMBRAPA-SPI, 2007.( Circular técnica, 140)

CASAGRANDE, E. C.; FARIAS, J. B.; NEUMAIER, N.; OYA, T.; PEDROSO, J. ; MARTINS, P. K.; BRETON, M. C.; NEPOMUCENO, A. L. Expressão gênica diferencial durante déficit hídrico em soja. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal** v.13 n.2, 2001.

CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A.; PERES, L. E. P. **Manual de fisiologia vegetal: teoria e prática**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 2005. 650 p.

\_\_\_\_\_ ; CATO, S. C.; VIEIRA, E. L.. **Aplicação de reguladores vegetais na agricultura tropical**. Livraria e Editora Agropecuária, Guaíba, Brasil. 2001, 132p.

CHAVES FILHO, J. T. C.; SERAPHIN, E. S. 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 de Botânica**. v. 24, n.2 p. 199-204, 2001.

CHEN-JUNIOR, P. S.; TORIBARA, T. S.; WARNER, H. Microdetermination of phosphorus. **Analytical Chemistry**, v.28, n.11, p.1756-1758, Washington 1956.

CLAUSSEN, W. Proline as a measure of stress in tomato plants. **Plant Science, Amsterdam**, v.168, n.1, p.241-248, 2005.

COLEMAN, R. G. ; RICHARDS, F. J. Physiological studies in plant nutrition. Some aspects of nitrogen metabolism in barley and other plants in relation to potassium deficiency. **Annals of Botany**, v.20, n.2, p.393-409, 1956.

COOL, J. B.; RODRIGO, G. N.; GARCÍA, B. S.; TAMÉS, R. S. Relaciones hídricas y nutrición. In: **Fisiologia Vegetal**. 6ª ed. Madrid: Ediciones Pirámide, 1992. p.59-167.

CORDEIRO, Y. E. M. **Aspectos biofísicos e bioquímicos de plantas jovens de mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King) sob dois regimes hídricos**. 2007. 44 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2007.

\_\_\_\_\_; PINHEIRO, H. A.; SANTOS FILHO, B. G.; CORRÊA, S. S.; SILVA, J. R. R.; DIAS-FILHO, M. B. Physiological and morphological responses of Young mahogany (*Swietenia macrophylla* King) plants to drought. **Forest Ecology and Management**, v. 258, p.1449-1455, 2009.

COSTA, G. F.; MARENCO, R.A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica**, v.37, p.229-234, 2007.

COSTA, R. C. L. **Assimilação de nitrogênio e ajustamento osmótico em plantas nodulantes de feijão-de-corda [*Vigna unguiculata* (L.) (Walp)] submetidas ao estresse hídrico**. 1999. 255f. Tese (Doutorado em Bioquímica Vegetal) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1999.

Da MATTA, F. M.; CHAVES, A. R. M.; PINHEIRO, H. A.; DUCATTI, C.; LOUREIRO, M. E. Drought tolerance of two Field-grown clones of *Coffea canephora*. **Plant Science** v.164, p.111-117, 2003.

DAVIES, P. J. Polyamines In: DAVIES, P. J. **Plant hormones: Biosynthesis, signal transduction, action**. Academic Publishing, 2005. p. 1-15.

DAVIS, W. J.; METCALFE, J.; LODGE, T. A.; DA COSTA, H. R. Plant growth substances and the regulation of growth under drought. **Aust. J. Plant Physiol.** 1986.

DELAUNEY, A.; VERMA, D. Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. **Plant J.** v.4, p.215-223, 1993.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analitacal Chemistry**, v.28, n.3, p.350-356, 1956.

DUNISCH, O.; AZEVEDO, C. P.; GASPAROTTO, L.; MONTOIA, G. R.; SILVA, G. J.; SCHWARZ, T. Light, water, and nutrient demand for the growth of three high quality timber species (Meliaceae) of the Amazon. **Journal of Applied Botany-Angewandte Botanik**, v.76, n.1-2, p. 29-40, apr., 2002.

EGERT, M.; TEVINI, M. Influence of drought on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress in leaves of chives (*Allium schoenoprasum*). **Environmental and Experimental Botany**, v.48, p.43-49, 2002.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição Mineral de Plantas:Princípios e Perspectivas**, 2ª ed. Londrina: Planta, 2006. 401p.

EVANS, H. J.; SORGER, G. J. Role of mineral elements with emphasis on the univalent cations. **Ann. Rev. Plant Physiol.** v.17, p. 417-76, 1966.

FALESI, I. C.; BAENA, A. R. C. **Mogno-africano *Khaya ivorensis* A. Chev. em sistema silvipastoril com leguminosa e revestimento natural do solo**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999, 52p. (Embrapa Amazônia Oriental, Documentos, 4).

FERNANDEZ, J. E.; MORENO, F.; GIRÓN, I. F.; BLÁZQUEZ, O. M. Stomatal control of water use in olives trees leaves. **Plant and soil**, v.190, p.179-192, 1997.

FERNANDEZ, O. A.; CALDWELL, M. M. Phenology and dynamics of roots growth of tree cool semi-desert shrubs under field conditions. **J. Ecol.** v.63, p.703-714, 1984.

FERREIRA, L. G. R. **Fisiologia Vegetal: Relações Hídricas**. EUFC, 1992, 138p.

FERREIRA, V. M.; MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; OLIVEIRA, L. E. M.; PURCINO, A. A. C. Metabolismo do nitrogênio associado à deficiência hídrica e sua recuperação em genótipos de milho. **Ciência Rural, Santa Maria**, v.32, n.1, p.13-17, 2002.

FIGUEIRÔA, J. M.; BARBOSA, D. C. A.; SIMABUKURO, E. A. Crescimento de plantas jovens de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) sob diferentes regimes hídricos. **Acta Bot. Bras.** v.18, n.3, p.573-580. 2004.

FISCUS, E. I.; WUILLSHLEGER, S. D.; DUKE, H. R. integrating stomatal opening as an indicator of water stress in Zea. **Crop Science**, v.24, n.2, p.245-249. 1984.

FORD, C. W.; WILSON, J. R. Changes in levels of solutes during osmotic adjustment to water stress in leaves of four tropical pasture species. **Australian Journal of Plant Physiology** v.8, p.77-91, 1981.

FRANCO, A. C.; BUSTAMANTE, M.; CALDAS, L. S.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F. C.; KOZOVITS, A. R.; RUNDE, I. P.; VERA, T. R. C. Leaf functional traits of Neotropical savanna trees in relation to seasonal water deficit. **Trees - Structure and Function**, v.19, p.326-335, 2005.

FUMIS, T. F.; PEDRAS, J. F. Variação nos níveis de prolina, diamina e poliaminas em cultivares de trigo submetidas a déficits hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v.37, p.449-453, 2002.

GAVA, J. L. Efeito da adubação potássica em plantios de *E. grandis* conduzidos em segunda rotação em solos com diferentes teores de potássio trocável. **Série Técnica – IPEF**, v.11, n.30, p.89-94, 1997.

GIORIO, P.; SORRENTINO, G.; DIANDRIA, R. Stomatal behavior, leaf water status and photosynthetic response in field-grown olive trees under water deficit. **Environmental and Experimental Botany** v.42, p.95-104, 1999.

GIROUSSE, C.; BOURNOVILLE, R.; BONNEMAIN, J. L. Water deficit-induced changes in concentrations in proline and some other amino acids in the phloem sap of alfafa. **Plant Physiology**, v.111, p.109-113, 1996.

GONÇALVES, J. F. C.; VIEIRA, G.; MARENCO, R. A.; FERRAZ, J. B. S.; SANTOS JUNIOR, U. M.; BARROS, F. C. F. Estado nutricional e área foliar específica de mogno e cumaru sob dois ambientes de luz. **Acta Amazonica**, v. 35, n.1, p.23-27, 2005.

GROGAN, J. E. **Bigleaf mahogany (*Swietenia macrophylla* King) in southeast Pará, Brazil: a life history study with management guidelines for sustained production from natural forest**. 2001. 422 f. Tese (Doutorado) - Yale University School of Forestry & Environmental Studies. New Haven, CT, USA, 2001.

GUCCI, R.; MASSAI, R.; XILOYANNES, C.; FLORE, J.A. The effects of drought and vapour pressure deficit on gas exchange of young kiwifruit (*Actinidia deliciosa* var. *deliciosa*) venes. **Annals of Botany**. v.77, n.6, p.605-613, 1996.

HANDA, S.; HANDA, A. K.; HASEGAWA, P. M.; BRESSAN, R. A. Proline accumulation and the adaptation of cultured plant cells to water stress. **Plant Physiology**, v.80, p.938-945, 1986.

HARBORNE, J. B. **Introduction to ecological biochemistry**. New York : Academic Press, 1977. 243p.

HARE, P. D.; CRESS, W. A. Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants. **Plant Growth Regulation**, v.21, p.79-102, 1997.



HERBERT, M. A. Fertilizers and eucalypt plantations in South Africa. In: ATTIWILL, P. A.; ADANS, M. A. (Ed.). **Nutrition of Eucalypts**. Collingwood : CSIRO, 1996. p. 303-326.

INGRAM, J.; BARTELS, D. The molecular basis of dehydration tolerance in plants. **Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.** v. 47, p.377-403, 1996.

IRIGOYAN, J. J. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfafa (*medicago sativa*). **Plants Physiologia Plantarum**, v.45, p.103-111, 1992.

ISMAEL, J. J. **Efeitos da fertilização nitrogenada e da umidade do substrato na aclimação e na adaptação no campo de mudas de *Eucalyptus grandis* W.(Hill ex Maiden)**. Jaboticabal, 2001. 108f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2001.

IZQUIERDO, J. A.; HOSFIELD, G. L. A collection receptacle for field abscission studies in common beans. **Crop science**, v.21, n.4, p.522-525, 1981.

JAMAUX, I.; STEINMETZ, A.; BELHASSEN, E. Looking for molecular and physiological markers of osmotic adjustment in sunflower. **New Phytol.** v.137, p.117-127, 1997.

JONES, M. M.; RAWSON, H. M. Influence of rate of development of leaf conductance water deficits upon photosynthesis, leaf conductance, water use efficiency, and osmotic potential in sorghum. **Physiologia plantarum**, v.45, p.103-111, 1979.

KABATA, P. A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC Press, 1984. 315p.

KAFKAFI, U.; VALORAS, N.; LETEY, J. Chloride interaction with nitrate and phosphate nutrition in tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.5, n.12, p.1369-1385, 1982.

KAUR-SAWHNEY, R.; GALSTON, A.W. Physiological and biochemical studies on the antisenescence properties of polyamines in plants. In: SLOCUM, R.D.; FLORES, H. E. (Eds). **Biochemistry and Physiology of Polyamines in Plants**. Boca Raton: CRC Press, 1991. cap.14, p.201-211.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. 452p.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Orgânicos**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1985. 292p.

KINGSTON-SMITH, A. H., WALKER, R. P.; POLLOCK, C. J. Invertase in leaves: conundrum or control point? **Journal of Experimental Botany**, v.50, p.735-743, 1999.

KNIGHT, P. J. Seasonal fluctuations in foliar nutrient concentration in a young nitrogen deficient stand of *Eucalyptus fatigata* with and without applied nitrogen. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v.18, n.1, p.15-32, 1988.

KOZLOWSKI, T. T.; KRAMER, P. J.; PALLARDY, S. G. Water stress. In: **The physiological ecological of wood plants**. San Diego: Academic Press, 1991. p. 242-302.

\_\_\_\_\_ ; PALLARDY, S. G. **Physiology of woody plants**. 2<sup>th</sup>. nd. San Diego : Academic Press, 1996. 432p.

KRAMER, P. J. **Water relations of plants**. New York: Academic Press, 1983. 489p.

\_\_\_\_\_. Water stress and plant growth. **Agronomy Journal**, v.55, n.1, p.31-35. 1963.

\_\_\_\_\_ ; BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995, 495 p.

KOZLOWSKI, T. T. **Fisiologia das árvores**. Fundação Calouste Gulbenkian/Lisboa. 1960, 745p.

KUDREV, T. G. **Água: vida das plantas**. São Paulo: Ícone, 1994. 178p.

LANDSBERG, J. J. **Physiological ecology of forest production**. London: Academic Press, 1986, 198p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos : Rima, 2004. 531p.

LEPRINCE, O.; HENDRY, G. A. F.; MCKERSIE, B. D. The mechanisms of desiccation tolerance in developing seeds. **Seed Sci. Res.** v.3, p.231-46, 1993.

LIBERATO, M. A. R.; GONÇALVES, J. F. C.; CHEVREUIL, L. R.; NINA JUNIOR, A. R.; FERNANDES, A. V.; SANTOS JUNIOR, U.M. Leaf water potential, gas exchange and chlorophyll afluorescence in acariquara seedlings (*Minquartia guianensis*Aubl.) under water stress and recovery. **Braz. J. Plant Physiol**, v.18, n.2, p.315-323, 2006.

LIMA JUNIOR, E. C. **Crescimento e estado nutricional de plantas jovens de mogno (*Swietenia macrophylla* King) em função da calagem.** 2005. 75f. Dissertação (Mestrado Interinstitucional em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia/CEULJI-RO/ULBRA, 2005.

LOPES, O. ; WANDELLI, E. **Ecofisiologia.** Disponível em: <<http://www.usra.edu/iai/topics/ecophys/ecophys.html>>. Acesso em: 08 out. 2003.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras:** Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Editora Plantarum : Nova Odessa, SP. 1992, 352p.

LUDLOW, M. M.; FISHAER, M. J.; WILSON, J. R. Stomatal to water deficits in three tropical grasses and tropical legume grown in controlled conditions and in de field. **Australian J. Plant Physiol.** v.12, p.131-149, 1985.

LUDLOW, N. M. Adaptative significance of stomatal responses to water stress. In: TURNER, N.C.; KRAMER, P.J. **Adaptation of plants to water and high temperature stress.** New York : Wiley, p.123-138, 1980.

MAGALHÃES FILHO, J. R.; AMARA, L. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MEDINA,C. L.; MACHADO, E. C. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranjeira 'Valência' sobre dois tipos de portas-enxerto. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.1, 2008.

MAGGIO, A.; MIYAZAKI, S.; VERONESE, P.; FUJITA, T.; IBEAS, J. I.; DAMSZ, B.; NARASIMHAN, M. L.; HASEGAWA, P. M.; JOLY, R. J.; BRESSAN, R. A. Does proline accumulation play a active role in stress-induced growth reduction? **The Plant Journal**, v.3, p.699-712. 2002.

MAKI, H.; ANDO, S.; KODAMA, H.; KOMAMINE, A. Polyamines and the cell cycle of *Catharanthus roseus* cells in culture. **Plant Physiology**, v.96, n.4, p.1008-1013, 1991.

MALAVOLTA, E. **Elementos da Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

\_\_\_\_\_; CROCOMO, O. J. Funções do potássio na planta. In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O.; USHERWOOD, N. R. (Ed.) **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1982. p.95-162.

\_\_\_\_\_; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do Estado Nutricional das Plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997, 319p.

MARENCO, R. A.; GONÇALVES, J. F. C.; VIEIRA, G. Leaf gás exchange and carbohydrates in tropical trees differing in successional status in two light environments in central Amazonia. **Tree Physiology**, v.21, p.1311-1318, 2001.

MARIN, A.; SANTOS, D. M. M.; BANZATTO, D. A.; CODOGNOTTO, L. M. Notas Científicas: Influência da disponibilidade hídrica e da acidez do solo no teor de prolina livre de guandu. **Pesq. agropec. bras., Brasília**, v.41, n.2, p.355-358, 2006.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 2<sup>th</sup> nd, San Diego: Academic Press, 1995. 888p.

MARTIN, C. E.; LIN, K. C.; HSU, C. C.; CHIOU, W. C. Causes and consequences of high osmotic potentials in epiphytic higher plants. **Journal of Plant Physiology**, v.161, p.1119-1124, 2004.

MARTINS, F. B.; STRECK, N. A.; SILVA, J. C.; MORAIS, W. W.; SUSIN, F.; NAVROSKI, M. C.; VIVIAN, M. A. Deficiência hídrica no solo e seu efeito sobre transpiração, crescimento e desenvolvimento de mudas de duas espécies de eucalipto. **R. Bras. Ci. Solo**, v.32, p.1297-1306, 2008.

MARUR, C. J. Curvas pressão-volume e expansão foliar em cultivares de algodoeiro submetidos a déficit hídrico. **Scientia Agricola**, v. 56, p.563-569, 1999.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition** 4.ed. Calcium: International Potash Institute, 1982. cap.11, p.455-480.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. A. **Principles of Plant Nutrition**. 5<sup>th</sup> nd, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.

MITRA, J. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. **Current Science**, v.80, n.6, p.758-763, 2001.

MOLLE, R. F. **Atividade de enzimas do catabolismo de sacarose em plântulas de *Hymenaea courbaril* L. (Hayne) Lee & Lang. durante a mobilização do xiloglucano de reserva.** São Paulo, 2007. 49f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente) - Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente, 2007.

MONSELISE, S. P. Citrus and related species. In: HALEVY, A.H. (Ed.). **Handbook of flowering.** Boca Raton : CRC Press, 1985. v.2, p.275-294.

MOONEY, H. A.; EHLERINGER, J. R. Photosynthesis. In: CRAWLEY, M.J. (Ed.). **Plant Ecology.** 2<sup>th</sup> ed. Black Well Science. 1997. p.1-27.

MORAIS, R. R.; GONÇALVES, J. F. C.; RIBEIRO, G. J.; CAMPOS, F. C.; LIMA, R. B. S. Potencial hídrico foliar de espécies constituintes de sistema agroflorestral sob diferentes períodos de precipitação na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v.5, supl. 2, p.1023-1025, jul. 2007.

MORGAN, J. M. Osmoregulation and water stress in higher. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 35, p.299-319, 1984.

MORIANA, A.; VILLALOBOS, E. J.; FERERES E. Stomatal and Photosynthetic responses of olive (*Olea europaea* L.) leaves to water deficit. **Plant Cell and Environmental**, v.25, p.395-405, 2002.

NAGARAJAH, S.; SCHULZE, E. D. Responses of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. To atmospheric and soil drought. **Aust. J. Plant Physiol.** v.10, p.385-94. 1983.

NATH, A. K.; KUMARI, S.; SHARMA, D. R. In vitro selection and characterization of water stress tolerant cultures of bell pepper. **Indian Journal Plant Physiology**, v.10. p.14-19. 2005.

NAUTIYAL, S.; NEGI, D. S.; KUMAR, S. Effect of water stress and antitranspirants on the chlorophyll contents of the leaves of *Pongamia pinnata* (L.) Pierre. **The Indian Forester**, v.122, p.1018-1022, 1996.

NEPSTAD, D.C; CARVALHO, C.R.; DAVIDSON, E.A.; JIPP, P.H.; LEFEBVRE, P.A.; NEGREIROS, G.H.; SILVA, E.D.; STONE, T.A.; TRUMBORE, S.E; VIEIRA, S. The

role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forests and pastures. **Nature**, v. 372, n.15, p. 666-669, 2002.

NILSEN, E. T.; ORCUTT, D. M. **Physiology of plant under stress: abiotic factors**. New York: John Wiley & Sons, 1996.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; MORAES, J. A. P. V.; BURITI, H. A. ; BEZERRA NETO, E. Alterações na resistência a difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v1, p.75-87, 2001.

\_\_\_\_\_; SANTOS, R. C.; BEZERRA NETO, E.; SANTOS, V. F. Comportamento fisiológico de duas cultivares de amendoim submetidas a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, p.1963-1969, 1998.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA JÚNIOR, J. F.; SILVA, E. C.; LEDERMAN, I. E. Curso diário das perdas de vapor d'água, da temperatura e do potencial da água da folha em germoplasma de carambola (*averrhoa carambola* L.). **Acta bot. bras.** v.16, n.2, p.217-223, 2002.

NOVAIS, R. F.; RÊGO, A. K.; GOMES, J. M. Nível crítico de potássio no solo e na planta para o crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e de *Eucalyptus cloeziana* F. MUELL. **Revista Árvore**, v. 4, n.1, p.14-23, 1980.

NUNES, M. A. L. **Comportamento ecofisiológica e fitopatológico de bananeiras (*Musa spp*) em solo artificialmente infestado com *Fusarium oxysporum f.sp. cubense* (E.F. Smith) Sn. & Hansen**. 2000. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas)-Universidade Federal do Pará. Centro de Ciências Biológicas, 2000.

OLIVEIRA NETO, C. F. **Crescimento, produção e comportamento fisiológico e bioquímico em plantas de sorgo (*sorghum bicolor* [L.] Moench) submetidas a deficiência hídrica**. 2008. 106f. Dissertação (mestrado em agronomia). UFRA.2008.

OLIVEIRA, M. A. J.; BOVI, M. L. A.; MACHADO, E. C.; RODRIGUES, J.D. Atividade da redutase de nitrato em mudas de pupunheira (*Bactris gasipaes*). **Cienc. Rural**, v.35, n.3, 2005.

OOSTERHUIS, D. M.; WULLSCHLEGER, S.D. Consideration of drought tolerance in irrigation management of vegetable crops. **Acta Horticultural**, v.278, p. 351-357, 1990.

OSAKI, F. **Calagem e adubação**. 2ª Ed. atual e aum. Campinas-SP : Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola, 1991.

PÁLFI, G.; JUHÁSZ, J. The theoretical basis and practical application of a new method of selection for determining water deficiency in plants. **Plant and Soil**, v.34, p.503-507, 1971.

PEIXOTO, M. M. **Variações sazonais no metabolismo de carbono e relações hídricas em espécies lenhosas do cerrado de diferentes grupos funcionais**. 2007. 46f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade de Brasília. Brasília – DF, 2007.

PEOPLES, M. B.; FAIZAH, A. W.; REAKASEM, B. E.; HERRIDGE, D. F. **Methods for evaluating nitrogen fixation by nodulated legumes in the field**. Carberra : Australian Centre for International Agrucultural research, 1989. p.76.

PEREZ, S. C. J. G. A.; MORAES, J. A. P. V. Determinações de potencial hídrico, condutância estomática e potencial osmótico em espécies do estrato arbóreo, arbustivo e herbáceo de um cerrado. **Revista brasileira de Fisiologia Vegeta** v. 3, p. 27-37, 1991.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. EDUR : Seropédica, 2004. 191p.

PINHEIRO, C.; PASSARINHO, J. A.; RICARDO, C. P. Effect of drought and rewatering on the metabolism of *Lupinus albus* organs. **J. Plant Physiol.** v.161, p.1203–10, 2004.

PINHEIRO, H. A.; DAMATTA, F. M.; CHAVES, A. R. M.; LOUREIRO, M. E. ; DUCATTI, C. Drought Tolerance is Associated with Rooting Depth and Stomatal Control of Water Use in Clones of *Coffea canephora*. **Annals of Botany** v.96, p.101-108, 2005.

PITA, P.; PARDOS, J. A. Growth, leaf morphology, water use and tissue water relations of *Eucalyptus globules* clones in response to water deficit. **Tree Physiology**, v.21, p.599-607, 2001.

PRETTY, K. M. O potássio na qualidade dos produtos agrícolas. In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O.; USHERWOOD, N.R. (eds.) **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1982, p.177-194.

REY, P. ; PRUVOT, G. ; GILLET, B. ; PELTIER, G. Molecular chracterization of two chloroplastic proteins induced by water deficit in *Solanum tuberosum* L. plants:

involvement in the response to oxidative stress. In: SMALLWOOD, M.F.; CALVERT, C.M.; BOWLES, D.J. (Ed.). **Plant responses to environmental stress**. Oxford : BIOS Scientific Publishers, 1999. p.145-152.

RHEIN, A. F. **atividade da redutase do nitrato e acúmulo de Prolina livre em raízes de cana-de-açúcar submetidas ao estresse hídrico e ácido no solo**. 2008. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Unespa, Jaboticabal-SP, 2008.

RIEGER, M. Growth, gas exchange, water uptake, and drought response of seedling- and cutting-propagated peach and citrus rootstocks. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.117, p. 834-840, 1992.

ROMERO, P.; BOTÍA, P. Daily and seasonal patterns of leaf water relations and gas exchange of regulated deficit-irrigated almond trees under semiarid conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v.56, p.158-173, 2006.

SALINAS, J. G. ; GARCIA, R. **Métodos químicos para el analisis de suelos ácidos y plantas forrajeras**. Cali, Colômbia : CIAT, 1985. 83p.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Plant Physiology**. 4th ed. Wadsworth Publishing Company, Belmont, California. 1992.

SASSE, J.; SANDS, R.; WHITEHEAD, D.; KELLIHER, F.M. Comparative responses of cuttings and seedlings of *Eucalyptus globulus* to water stress. **Tree Physiology**, v.16, p.287-294, 1996.

SCHACHTMAN, D. P.; SCHROEDER, J. I. Structure and transport mechanism of a high affinity potassium uptake transporter from higher plants. **Nature**, London, v.370, n.6491, p.655-658, 1994.

SCHMIDT, D. V. C. **Crescimento de mudas de Eucalyptus camaldulensis e Eucalyptus grandis em resposta à fertilização potássica e a calagem**. 1995. 57f. Dissertação (Mestrado em Solos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

SCHONAU, A. P. G. Seasonal changes in foliar nutrient content of *Eucalyptus grandis*. **South African Forestry Journal**, Pretória, v.119, p.1-4, 1981.

SERRAJ, R.; SINCLAIR, T. R. Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions? **Plant, Cell and Environment**, v.25, p.333-341, 2002.



SHARMA, B. M. Mineral content leaves of some common tropical Forest and their associated soils in Ibadan, Nigeria. **Canadian Journal of Forest Research**, v.13, n.4, p.556-562, 1983.

SILVA, A. R. M.; TUCCI, C. A. F.; LIMA, H. N.; FIGUEIREDO, A. F. Doses crescentes de corretivo na formação de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* king). **Acta Amazônica**, v.37, n.2, p.195-200, 2007.

SILVA, B.G.; LEMOS FILHO, P. P. L. Water relations of Woody species in the campus Pampulha/UFMG, Belo Horizonte, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 24, p. 519-525, 2001.

SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; AZEVEDO NETO, A. D.; BRITO, J. Z. ; CABRAL, E. L. Aspectos ecofisiológicos de dez espécies em uma área de caatinga no município de Cabeceira, Paraíba, Brasil. **Iheringia** v.59, p.201-205, 2004.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; SANTOS, V. F. Comportamento estomático e potencial da água da folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico. **Acta bot. bras.** v.17, n.2, p. 231-246. 2003.

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.** 1998. 105f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), UFP, Curitiba, 1998.

\_\_\_\_\_; **Efeitos do manejo hídrico e da aplicação de potássio na qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* w. (hill ex. maiden).** 2003. Tese (Doutorado em Agronomia), UNESP, Botucatu SP, 2003.

SILVEIRA, R. L. V.; MALAVOLTA, E. ; BROETTO, F. Efeito do potássio na produção de matéria seca e na concentração de putrescina, espermidina e espermina em progênies de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis** n.59, p.13-25, 2001.

SILVEIRA, R. L. V. A.; MALAVOLTA, E. Nutrição e adubação potássica em eucalyptus. **Informações agrônômicas**, n.91, p.1-12, set. 2000.

SINCLAIR, T. R.; HOLBROOK, N. M.; ZWIENIECKI, M.A. Daily transpiration rates of woody species on drying soil. **Tree Physiol.**, v.25, p.1469-1472, 2005.

SIRCIEJ, H.; TAUSZ, M.; GRILL, D.; BATIC, F. Biochemical responses in leaves of two apple tree cultivars subjected to progressing drought. **Journal of Plant Physiology**, v.162, p.1308-1318, 2005.

SLAVICK, B. **Methods of studying plant water relations**. New York : Springer Verlag, 1979. p.449.

SMIRNOFF, N. Antioxidant systems and plant response to the environment. In: **Environment and Plant Metabolism – Flexibility and Acclimation**. Oxford : BIOS Scientific Publishers, 1995. p.217-243.

SPERRY, J. S.; HACKE, U.G.; OREN, R.; COMSTOCK, J. P. Water deficits and hydraulic limits to leaf water supply. **Plant, Cell and Environment**, v.25, p.251–263, 2002.

STEFANUTO, V. A. **Efeito do cálcio na homeostase de brotações de um clone de *Eucalyptus grandis* hill (ex maiden) sob condições de deficiência hídrica induzida in vitro**. 2002. 65f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior Agricultura Luiz Queiroz, 2002.

SUBBARAO, G. V.; CHAUHAN, Y. S.; JOHANSEN, C. Osmotic adjustment, water relations and carbohydrate remobilization in pigeonpea under water estress. **Journal of Plant Physiology**, v.157, n.6, p.651-659, 2000.

SZEGLETES, Z. et al. Accumulation of osmoprotectantes in wheat cultivars of different drought tolerance. **Cereal Research Communications**, v.58, n.4, p.403-410, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4ª ed. Porto Alegre : Artmed, 2009.

TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; BORKERT, C. M. Nutrição mineral da soja. In: SIMPÓSIO SOBRE A CULTURA DA SOJA NOS CERRADOS, 1., 1992, Uberaba. **Anais...** Cultura da soja nos cerrados. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1993. p.105-135.

TARDIEU, F.; ZHANG, J.; KATERJI, N.; BETHENOD, O.; PALMER, S.; DAVIES, W.J. Xylem ABA controls the stomatal conductance of field-grow maize as a function of the predraw leaf water potential. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v, 15, p. 193-197, 1992.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F.; DARDENGO, M. C. J. D.; EFFGEN, T. A. M. Comportamento de dois clones de *Eucalyptus* na época seca e chuvosa. **Cerne**, Lavras, v.13, n.2, p.149-159, abr./jun. 2007.

TEIXEIRA, P. C.; LEAL, P. G. L.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Nutrición potásica y relaciones hídricas en plantas de *Eucalyptus* spp. **Bosque**, v.16, n.1, p.61-68, 1995.

TEREZO, E. F. M. **Status do mogno (*Swietenia macrophylla*, King) na Amazônia Brasileira**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2002. 47p.

TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants. **Annals of Botany**, Oxford, v.91, n.5, p.503-527, 2003.

THIEN, S. J. The Soil as a Water Reservoir. In: TEARE, D.; PEET, M.M. (Ed.) **Crop-water relations**. New York: John Wiley & Sons, 1983. p. 45-72.

THOMPSON, J. F. Arginine synthesis, praline synthesis, and related processes. In: Mifflin, B. J. (Ed.). **Amino acids and derivatives**. New York: Academic Press, 1980. cap.10, p.375-402. (Biochemistry of Plants, 5).

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, Climatology, 1955. v.8, n.1, p.104.

TIMPA, J. D.; BURKE, J. J.; QUISENBERRY, J. E.; WENDT, C. W. Effects of water stress on the organic acid and carbohydrate compositions of cotton plants. **Plant Physiology**, v.82, p.724-728, 1986.

TOGNETTI, R.; DIANDRIA, R.; MORELLI, G.; CALANDRELLI, D.; FRAGNITO, F. Irrigation effects on daily and seasonal variations of trunk and leaf water relations in olive trees. **Plant and Soil**, v. 263, p.249-264, 2004.

TURNER, N. C. Adaptation to water deficits: a changing perspective. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.13, p.175-190, 1986.

\_\_\_\_\_. Measurement and influence of environmental and plant factors on stomatal conductance in the yield. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.54, p.137-154, 1991.

\_\_\_\_\_; JONES, M. M. Turgor maintenance by osmotic adjustment: a review and evaluation. In: **Adaptation of Plant to Water and High Temperature Stress**. New York : Wiley, 1980. P.87-103.

VAN HANDEL, E. Direct microdetermination of sucrose. **Anal Biochemist**, v.22, p.280-283, 1968.

VAN HEERDEN, P. D.; KRUGER, G. H. J. Separately and simultaneously induced dark chilling and drought stress effects on photosynthesis, praline accumulation and antioxidant metabolism in soybean. **J. Plant Physiol.**, v.159, p.1077-1086, 2002.

VOLPE, C. A. Fenologia dos citros. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CITROS: FISILOGIA, 2., 1992. Bebedouro, **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992. p.107-121.

WHITEHEAD, D. assessment of water status in trees from measurements of stomatal conductance and water potential. New Zeland. **Journal of Forestry Science**, v.1, n.1, p.159-165, 1980.

WILLIAMS, R. J.; LEOPOLD, D. A. C. The glassy state in corn embryos. **Plant Physiology**, v.89, p.977-81, 1989.

WILLIAMSON, C. L.; SLOCUM, R. D. Molecular cloning and evidence for osmoregulation of the pyrroline-5-carboxylate reductase (proC) gene in Pea (*Pisum sativum* L.). **Plant Physiology**, v.100, p.1464-1470, 1992.

# A P Ê N D I C E

**Tabela A** - Valor dos Quadrados Médios e níveis de significância das variáveis transpiração (E) e condutância estomática (gs), ao longo do dia, nos períodos chuvoso (PC) e seco (PS) em plantas de *Swietenia macrophylla* e *Khaya ivorensis*, em função de doses de KCl.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios							
		2006				2007			
		E	gs	E	gs	E	gs	E	gs
		PC	PC	PS	PS	PC	PC	PS	PS
Doses (D)	3	38,72ns	1,63ns	0,26ns	0,03ns	3,19ns	0,60ns	3,42ns	1,25ns
Espécies (E)	1	220,71**	12,61**	0,01ns	0,01ns	21,87**	1,73*	0,74ns	0,06ns
D x E	3	0,24ns	0,27ns	0,25ns	0,04ns	17,91ns	0,43ns	1,50ns	0,39ns
Horas	4	404,68**	82,85**	68,25**	0,27**	899,89**	50,04**	304,95**	108,80**
H x D	12	0,37ns	0,58ns	0,51ns	0,03ns	12,65ns	1,64ns	2,64ns	1,45ns
H x E	4	12,80*	2,46*	2,09ns	0,02*	42,05*	10,67*	10,68ns	0,02ns
H x D x E	12	0,31ns	0,15ns	0,53ns	0,01ns	8,30ns	0,21ns	2,79ns	0,52ns
Resíduo	96	2,4	0,16	1,08	0,01	9,02	1,6	9,05	1,04
CV (%)		12,14	15,44	42,30	50,14	18,68	58,09	24,96	71,15

ns, \* e \*\* - não significativo, significativo ao nível de 5 e 1%, respectivamente.

**Tabela B** - Valor dos Quadrados Médios e níveis de significância das variáveis transpiração (E) e condutância estomática (gs), ao longo dos meses em plantas de *Swietenia macrophylla* e *Khaya ivorensis*, em função de doses de KCl.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			
		2006		2007	
		E	gs	E	gs
Doses (D)	3	3,22ns	0,01ns	0,52ns	6,73ns
Espécies (E)	1	48,17**	0,18**	176,17**	4,70ns
D x E	3	3,07ns	0,02ns	8,80ns	3,56ns
Meses	11	1028,63**	3,06**	1154,64**	67,29**
M x D	33	5,67ns	0,02ns	11,07ns	4,40ns
M x E	11	12,32**	0,04*	52,05**	8,84*
M x D x E	33	1,67ns	0,01ns	4,8ens	3,04ns
Resíduo	264	2,49	0,01	3,93	1,38
CV (%)		24,02	28,35	15,18	87,39

ns, \* e \*\* - não significativo, significativo ao nível de 5 e 1%, respectivamente.

**Tabela C** - Valor dos Quadrados Médios e níveis de significância das variáveis conteúdo relativo de água (CRA) e potencial hídrico foliar ( $\Psi_{fol}$ ) em plantas de *Swietenia macrophylla* e *Khaya ivorensis*, em função de doses de KCl.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios	
		CRA	$\Psi_{fol}$
Doses (D)	3	0,05ns	0,01ns
Espécies (E)	1	38,88*	0,20*
D x E	3	0,56ns	0,02ns
Períodos (P)	1	6950,45**	49,41**
P x D	3	1,09ns	0,01ns
P x E	1	2,90ns	0,01ns
P x D x E	3	1,28ns	0,01ns
Horários (H)	2	3502,25**	66,15**
H x D	6	1,14ns	0,01ns
H x E	2	0,88ns	0,03ns
H x D x E	6	0,83ns	0,01ns
H x P	2	184,41**	42,58**
H x D x P	6	0,90ns	0,01ns
H x p x E	2	1,26ns	0,02ns
H x D x E x P	6	0,65ns	0,01ns
Resíduo	120	4,43	0,03
CV (%)		2,63	7,33

ns, \* e \*\* - não significativo, significativo ao nível de 5 e 1%, respectivamente.

**Tabela D** - Valor dos Quadrados Médios e níveis de significância das variáveis carboidratos solúveis totais (CST), sacarose, amido, prolina, nitrato e aminoácidos solúveis totais (AST) em folhas de plantas de *S. macrophylla* e *K. ivorensis*, em função de doses de KCl.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios					
		CST	Sacarose	Amido	Prolina	Nitrato	AST
Doses (D)	3	2,79ns	2,94ns	17,74ns	81,59ns	2,63ns	154,33*
Espécies (E)	1	27804,81**	668,23**	383,25**	17389,23**	1938,03**	3517,95*
D x E	3	4,24ns	0,55ns	1,48ns	49,10ns	5,54nx	10,93ns
Período (P)	1	17857,31**	6069,28**	555,01**	31855,73**	48,68*	6981,58**
P x D	3	10,33ns	0,25ns	11,16ns	73,21ns	3,82ns	146,32**
P x E	1	15,71,60**	196,44**	36,66ns	12334,71**	0,96ns	785,37**
P x D x E	3	12,75ns	0,45ns	1,71ns	76,53ns	3,46ns	24,48ns
Resíduo	24	56,69	9,31	13,17	26,27	6,44	3,46
CV (%)		7,47	10,96	9,52	15,59	22,89	6,96

ns, \* e \*\* - não significativo, significativo ao nível de 5 e 1%, respectivamente.

**Tabela E** - Valor dos Quadrados Médios e níveis de significância das variáveis clorofila a (Cl a), clorofila b (Cl b), clorofila total (Cl a+b) e carotenos de plantas de *S. macrophylla* e *K. ivorensis*, em função de doses de KCl.

Fonte de Variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			
		Cl a	Cl b	Cl (a+b)	Carotenos
Doses (D)	3	2,84ns	0,70ns	6,27ns	0,06
Espécies (E)	1	27,29**	1,29ns	40,45**	1,49*
D x E	3	1,56ns	0,40ns	3,34ns	0,79ns
Período (P)	1	17,54*	12,80**	60,28**	4,46*
P x D	3	2,44ns	0,38ns	4,7	0,18ns
P x E	1	4,80ns	1,52*	11,73*	9,79**
P x D x E	3	1,90ns	0,34ns	3,82ns	0,10ns
Resíduo	24	1,28	0,24	2,25	0,39
CV (%)		15,82	17,84	15,1	18,57

ns, \* e \*\* - não significativo, significativo ao nível de 5 e 1%, respectivamente.



**Tabela F** - Valor dos Quadrados Médios e níveis de significância dos teores de macronutrientes nas folhas de plantas de *S. macrophylla* e *K. ivorensis*, em função de doses de KCl.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios					
		N	P	K	Ca	Mg	Na
Doses (D)	3	5,32ns	0,01ns	339,85**	38,48**	4,95**	0,01ns
Espécies (E)	1	146,50**	3,30**	55,58**	0,82ns	13,48**	0,87**
D x E	3	1,15ns	0,01ns	19,95**	0,29ns	0,15*	0,01ns
Resíduo	12	0,56	0,02	0,27	0,95	0,02	0,01
CV (%)		3,06	11,03	4,05	10,54	7,53	19,99

ns, \* e \*\* - não significativo, significativo ao nível de 5 e 1%, respectivamente.

**Tabela G** - Valor dos Quadrados Médios e níveis de significância das variáveis altura de planta, diâmetro do caule e número de folhas de plantas de *S. macrophylla* e *K. ivorensis*, em função de doses de KCl.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios					
		Altura	Diâmetro	Nºfolhas	Altura	Diâmetro	Nºfolhas
		-----2006-----			-----2007-----		
Doses (D)	3	790,69ns	102,44ns	100,76ns	4445,67ns	611,82ns	245,62ns
Espécies (E)	1	40,04ns	124,44*	19,08ns	6344,00ns	2616,68*	163,02ns
D x E	3	504,24ns	13,86ns	37,02ns	825,80ns	77,62ns	404,55ns
Períodos (P)	2	18590,17**	1171,07**	824,92**	40644,61**	11120,89**	471,17**
P x D	6	129,97ns	15,14ns	20,23ns	40,35ns	34,57ns	5,77ns
P x E	2	36,68ns	67,65*	25,19*	365,53*	37,91*	9,66ns
P x D x E	6	80,66ns	8,01ns	6,53ns	55,41ns	43,15ns	6,52ns
Resíduo	48	35,13ns	3,18	4,95	89,98	44,73	2,83
CV (%)		6,8	9,02	14,85	4,5	10,67	7,94

ns, \* e \*\* - não significativo, significativo ao nível de 5 e 1%, respectivamente

**Tabela H** - Teores de clorofila **a**, clorofila **b**, clorofila total (**a+b**) e carotenóides ( $\text{g kg}^{-1}$ ) nas folhas de plantas de *Khaya ivorensis* e *Swietenia macrophylla* submetidas a quatro doses de KCl, nas condições agroecológicas do município de Igarapé Açu-PA.

Doses KCl ( $\text{g p}^{-1}$ )	Clorofila <b>a</b>	Clorofila <b>b</b>	Clorofila ( <b>a+b</b> )	Carotenóides
0	7,41 a	2,97 a	10,37 a	3,42 a
200	7,62 a	2,95 a	10,57 a	3,47 a
400	6,88 a	2,61 a	9,49 a	3,36 a
600	6,74 a	2,57 a	9,31 a	3,33 a
CV	15,82	17,84	15,11 a	18,57

Médias com mesma letra não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Os dados referem-se às médias de quatro repetições.

**Tabela I** – Matriz de correlação de Pearson entre teores de nutrientes no solo e nas folhas de *K. ivorensis* e *S. macrophylla* em função das doses de KCl.

Variáveis	r e p-valor	N Solo	P_Solo	K_Solo	Ca_Solo	Mg_Solo	Na_Solo	N_Planta	P_Planta	K_Planta	Ca_Planta	Mg_Planta	Na_Planta
N Solo	Pearson Correlation	1.000	0.290	-0.066	0.292	-0.137	0.103	-0.029	0.015	-0.135	0.092	0.162	0.036
	Sig. (2-tailed)		0.276	0.808	0.272	0.614	0.705	0.916	0.957	0.617	0.734	0.549	0.893
P_Solo	Pearson Correlation	0.290	1.000	0.338	0.383	0.313	<b>0.607</b>	0.161	0.051	0.280	-0.456	-0.295	<b>-0.530</b>
	Sig. (2-tailed)	0.276		0.200	0.143	0.237	<b>0.013</b>	0.551	0.852	0.294	0.076	0.267	<b>0.035</b>
K_Solo	Pearson Correlation	-0.066	0.338	1.000	<b>0.843</b>	<b>0.883</b>	0.158	0.492	-0.153	<b>0.908</b>	<b>-0.804</b>	<b>-0.875</b>	0.080
	Sig. (2-tailed)	0.808	0.200		<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	0.559	0.053	0.572	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	0.769
Ca_Solo	Pearson Correlation	0.292	0.383	<b>0.843</b>	1.000	<b>0.736</b>	0.241	0.392	0.081	<b>0.668</b>	<b>-0.558</b>	<b>-0.593</b>	0.165
	Sig. (2-tailed)	0.272	0.143	<b>0.000</b>		<b>0.001</b>	0.369	0.133	0.766	<b>0.005</b>	<b>0.025</b>	<b>0.016</b>	0.543
Mg_Solo	Pearson Correlation	-0.137	0.313	<b>0.883</b>	<b>0.736</b>	1.000	0.186	0.364	-0.388	<b>0.832</b>	<b>-0.706</b>	<b>-0.812</b>	0.112
	Sig. (2-tailed)	0.614	0.237	<b>0.000</b>	<b>0.001</b>		0.490	0.166	0.138	<b>0.000</b>	<b>0.002</b>	<b>0.000</b>	0.679
Na_Solo	Pearson Correlation	0.103	<b>0.607</b>	0.158	0.241	0.186	1.000	-0.300	-0.028	0.097	-0.009	-0.123	-0.257
	Sig. (2-tailed)	0.705	<b>0.013</b>	0.559	0.369	0.490		0.258	0.919	0.722	0.974	0.650	0.336
N_Planta	Pearson Correlation	-0.029	0.161	0.492	0.392	0.364	-0.300	1.000	0.280	<b>0.592</b>	<b>-0.570</b>	-0.481	-0.374
	Sig. (2-tailed)	0.916	0.551	0.053	0.133	0.166	0.258		0.293	<b>0.016</b>	<b>0.021</b>	0.059	0.153
P_Planta	Pearson Correlation	0.015	0.051	-0.153	0.081	-0.388	-0.028	0.280	1.000	-0.200	0.109	0.238	-0.255
	Sig. (2-tailed)	0.957	0.852	0.572	0.766	0.138	0.919	0.293		0.457	0.688	0.375	0.340
K_Planta	Pearson Correlation	-0.135	0.280	<b>0.908</b>	<b>0.668</b>	<b>0.832</b>	0.097	<b>0.592</b>	-0.200	1.000	<b>-0.894</b>	<b>-0.960</b>	-0.007
	Sig. (2-tailed)	0.617	0.294	<b>0.000</b>	<b>0.005</b>	<b>0.000</b>	0.722	<b>0.016</b>	0.457		<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	0.979
Ca_Planta	Pearson Correlation	0.092	-0.456	<b>-0.804</b>	<b>-0.558</b>	<b>-0.706</b>	-0.009	<b>-0.570</b>	0.109	<b>-0.894</b>	1.000	<b>0.894</b>	0.117
	Sig. (2-tailed)	0.734	0.076	<b>0.000</b>	<b>0.025</b>	<b>0.002</b>	0.974	<b>0.021</b>	0.688	<b>0.000</b>		<b>0.000</b>	0.667
Mg_Planta	Pearson Correlation	0.162	-0.295	<b>-0.875</b>	<b>-0.593</b>	<b>-0.812</b>	-0.123	-0.481	0.238	<b>-0.960</b>	<b>0.894</b>	1.000	0.052
	Sig. (2-tailed)	0.549	0.267	<b>0.000</b>	<b>0.016</b>	<b>0.000</b>	0.650	0.059	0.375	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>		0.849
Na_Planta	Pearson Correlation	0.036	<b>-0.530</b>	0.080	0.165	0.112	-0.257	-0.374	-0.255	-0.007	0.117	0.052	1.000
	Sig. (2-tailed)	0.893	<b>0.035</b>	0.769	0.543	0.679	0.336	0.153	0.340	0.979	0.667	0.849	