

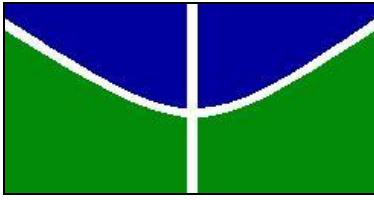


UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA

Erica Alvarenga Barleto

**Respostas Ecofisiológicas de *Acrocomia aculeata* (Jacquin) Loddies  
ex Martius ao déficit hídrico sazonal e à disponibilidade de  
nutrientes**

Brasília, 31 de maio de 2011.



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA

**Respostas Ecofisiológicas de *Acrocomia aculeata* (Jacquin) Loddies  
ex Martius ao déficit hídrico sazonal e à disponibilidade de  
nutrientes**

Erica Alvarenga Barleto

Orientador: Prof. Augusto César Franco, PhD.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Mestre em Ecologia.

Brasília, 31 de maio de 2011.

ERICA ALVARENGA BARLETO

Respostas Ecofisiológicas de *Acrocomia aculeata* (Jacquin) Loddies ex Martius ao déficit hídrico sazonal e à disponibilidade de nutrientes

Dissertação realizada com o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e aprovada junto ao Programa de Pós Graduação em Ecologia da Universidade de Brasília como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ecologia.

Banca Examinadora:

---

Dr. Augusto Cesar Franco  
Departamento de Botânica, UnB  
(Orientador, Presidente da Banca Examinadora)

---

Dra. *Mercedes* Maria da Cunha *Bustamante*  
Departamento de Ecologia, UnB  
(Membro Titular da Banca Examinadora)

---

Dr. Frederico Scherr Caldeira Takahashi  
(Membro Titular da Banca Examinadora)

---

Dra. Gabriela Bielefeld Nardoto  
Departamento de Ecologia, UnB  
(Membro Suplente da Banca Examinadora)

Brasília, 31 de maio de 2011

Ao Marlos e aos meus pais, dedico.

## **Agradecimentos**

Ao Professor Augusto César Franco pelas lições e orientação no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus professores, essenciais para a minha formação, especialmente à Professora Mercedes Bustamante pelas idéias doadas e livros emprestados.

Aos pesquisadores e técnicos do CPAC – Embrapa Cerrados pelo apoio logístico no trabalho de campo e pelas análises dos nutrientes minerais.

À equipe do Laboratório de Ecologia Vegetal do CPAC pelo empréstimo do IRGA.

Aos pesquisadores Leo da Conceição e Nilton Junqueira, que muitas vezes “salvaram meus dias de campo”.

Aos técnicos do laboratório de Fisiologia Vegetal Marinho, José do Carmo e Rafael e ao nosso motorista Mendes pelo apoio.

À Petrobrás pelo financiamento do projeto "Prospecção, domesticação e seleção de novas oleaginosas para produção de biodiesel" e à Finep pelo financiamento do projeto "Pesquisa, Desenvolvimento e inovação em palmáceas para produção de óleo e aproveitamento econômico de co-produtos e resíduos – PROPALMA", nos quais se este trabalho está inserido.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de mestrado.

Aos amigos do laboratório Marina, Davi, Jú, Nádia, Fred, Willian, Izabelly, Klécia, Isa, Lourdes, Cris e Sarah, que muito me ensinaram e me ajudaram, inclusive no trabalho de campo. Agradeço também pelas boas risadas durante nossos almoços e cafezinhos que tornaram minha vida acadêmica muito mais leve. Um agradecimento muito especial aos amigos Davi Rossato, Nádia Somavilla, Juliana Capuzzo e Frederico Takahashi pelos muitos dias e muitas madrugadas de trabalho de campo, pelas aulas de estatística e de como utilizar o tal do “R”.

Aos meus pais José Carlos e Vera e aos meus irmãos Fernando e Débora por me amarem e me apoiarem durante toda a minha vida.

Ao Marlos por me amar, me apoiar e dividir sua vida e suas realizações comigo.

## Sumário

Lista de Tabelas, Figuras e Anexos.....	6
Resumo.....	12
1. Introdução Geral.....	13
2. Referências Bibliográficas .....	15
CAPÍTULO 1 Respostas Fotossintéticas e Nutricionais de Duas Populações de <i>Acrocomia aculeata</i> (Jacquin) Loddies ex Martius Submetidas à Irrigação e ao Déficit Hídrico Sazonal.....	18
1. Introdução.....	19
2. Material e Métodos.....	21
2.1. Área de estudo e desenho experimental .....	21
2.2. Potencial hídrico foliar .....	25
2.3. Trocas gasosas foliares .....	25
2.4. Eficiência do uso da água e razão isotópica de C ( $\delta^{13}\text{C}$ ).....	26
2.5. Área foliar específica, pigmentos fotossintéticos, macro e micronutrientes e alumínio foliares .....	27
2.6. Eficiência do uso do Nitrogênio.....	28
2.7. Produção e comprimento de folhas .....	28
2.8. Análise estatística.....	28
3. Resultados e Discussão .....	29
3.1. Potencial hídrico foliar, trocas gasosas foliares e eficiência do uso da água .....	29
3.2. Área foliar específica e produção de folhas .....	42
3.3. Pigmentos fotossintéticos.....	44
3.4. Macro e micronutrientes.....	46
4. Conclusões .....	56
5. Referências Bibliográficas .....	56
CAPÍTULO 2 Respostas Fotossintéticas e Nutricionais de Duas Populações de <i>Acrocomia aculeata</i> (Jacquin) Loddies ex Martius Submetidos à Adubação .....	65
1. Introdução.....	66
2. Material e Métodos.....	67
2.1. Área de estudo e desenho experimental .....	67
2.2. Potencial hídrico foliar .....	71
2.3. Trocas gasosas foliares .....	71
2.4. Eficiência do uso da água.....	73
2.5. Área foliar específica, pigmentos fotossintéticos, macro e micronutrientes e alumínio foliares .....	73
2.6. Eficiência do uso do Nitrogênio.....	743
2.7. Produção e comprimento de folhas .....	743
2.8. Análise estatística.....	743
3. Resultados e Discussão .....	743
3.1. Potencial hídrico foliar, trocas gasosas foliares e eficiência do uso da água .....	743
3.2. Área foliar específica e produção de folhas .....	84
3.3. Pigmentos fotossintéticos.....	87
3.4. Macro e micronutrientes.....	89
4. Conclusões .....	97
5. Referências Bibliográficas .....	97
6. ANEXOS.....	106

## Lista de Tabelas, Figuras e Anexos

### Tabelas

#### Capítulo 1

Tabela 1. Parâmetros ecofisiológicos estimados a partir de curvas de resposta à luz e ajustados pela equação da hipérbole não retangular (Ögren, 1993) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF) durante as estações seca e chuvosa. Valores que diferem estatisticamente entre si estão marcados com asteriscos. O erro padrão encontra-se entre parênteses. ....40

#### Capítulo 2

Tabela 1. Parâmetros ecofisiológicos estimados a partir de curvas de resposta à luz e ajustados pela equação da hipérbole não retangular (Ögren, 1993) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* adubados e não adubados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF) durante as estações seca e chuvosa. O erro padrão encontra-se entre parênteses. ....84

### Figuras

#### Capítulo 1

Figura 1. Localização da área de estudo no interior do Campo Experimental da Embrapa Cerrados – CPAC. A área destacada em azul representa o experimento de irrigação (Fonte: <http://maps.google.com.br>, acesso: 19/11/2010). ....22

Figura 2. Médias mensais dos dados climáticos do período de estudo fornecidos pela estação meteorológica do CPAC. A – Precipitação e umidade relativa do ar; B – Temperatura e radiação solar. ....23

Figura 3. Desenho do experimento de irrigação (sem escala). Os números romanos representam os blocos, os retângulos representam as parcelas e seus respectivos tratamentos e os círculos representam os exemplares de *Acrocomia aculeata*, cinco por parcela. A seta indica o sentido da declividade do terreno. ....25

Figura 4. Potencial hídrico foliar da madrugada (A) e do meio-dia (B) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ). ....30

Figura 5. Trocas gasosas foliares sob saturação de luz: Condutância estomática (A); Transpiração foliar (B); Assimilação líquida máxima de  $\text{CO}_2$  (C) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ). ....32

Figura 6. Relação entre a assimilação máxima de  $\text{CO}_2$  ( $A_{\text{CO}_2}$ ) e a condutância estomática ( $g_s$ ) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF) durante as estações seca e chuvosa. As linhas são as funções não lineares resultantes do ajuste dos valores obtidos para todos os tratamentos dentro de cada estação. ....33

Figura 7. Eficiência do uso da água (A); Eficiência intrínseca do uso da água (B) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ). ....35

Figura 8. Razão isotópica do C ( $\delta^{13}\text{C}$ ) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF) durante as estações seca e

chuvosa. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo Teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).....	36
Figura 9. Curvas diárias realizadas nas estações seca e chuvosa. A e E - Densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFF) e déficit de pressão de vapor de água atmosférico (DPV); B e F - Condutância estomática ( $g_s$ ); C e G - Transpiração foliar (E); D e H - Assimilação de $CO_2$ ( $A_{CO_2}$ ). Os * indicam diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos irrigado e não irrigado, comparados dentro do mesmo horário de coleta e mesma estação. As letras indicam diferenças significativas entre as estações, comparando-se o mesmo horário de coleta (ANOVA encontra-se no ANEXO II. As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).....	38
Figura 10. Correlação entre condutância estomática ( $g_s$ ) e potencial hídrico da madrugada ( $\Psi_{mad}$ ) para indivíduos de <i>Acrocomia aculeata</i> irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF) durante as estações seca e chuvosa.....	39
Figura 11. Curvas de resposta à luz para indivíduos de <i>Acrocomia aculeata</i> irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (A) e do Distrito Federal (B) durante as estações seca e chuvosa. Os símbolos representam os valores máximos reais de $A_{CO_2}$ para diferentes DFF e as linhas representam os mesmos valores ajustados pela equação da hipérbole não retangular. As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ). .....	41
Figura 12. Área foliar específica para indivíduos de <i>Acrocomia aculeata</i> irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ). .....	42
Figura 13. Número de folhas produzidas de setembro de 2009 a outubro de 2010 (A); Comprimento das folhas (B) para indivíduos de <i>Acrocomia aculeata</i> irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Não foram encontradas diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ). .....	44
Figura 14. Concentração foliar de pigmentos clorofila <i>a</i> (A), clorofila <i>b</i> (B), carotenos (C) e razão entre clorofilas <i>a+b</i> e carotenos (D) para indivíduos de <i>Acrocomia aculeata</i> irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ). .....	45
Figura 15. Concentrações foliares dos macronutrientes nitrogênio (A) e fósforo (B) para indivíduos de <i>Acrocomia aculeata</i> irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).....	47
Figura 16. Correlação entre concentração de nitrogênio foliar (N) e área foliar específica (AFE) para indivíduos de <i>Acrocomia aculeata</i> irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF) durante as estações seca e chuvosa.....	48
Figura 17. Correlação entre concentração de fósforo foliar (P) e área foliar específica (AFE) para indivíduos de <i>Acrocomia aculeata</i> irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF) durante as estações seca e chuvosa .....	48
Figura 18. Correlação entre concentrações foliares de nitrogênio (N) e fósforo (P) para para indivíduos de <i>Acrocomia aculeata</i> irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF) durante as estações seca e chuvosa. ....	49
Figura 19. Razão entre N e P (A) e eficiência do uso de N (B) para indivíduos de <i>Acrocomia aculeata</i> irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF).	



Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).....	50
Figura 20. Concentrações foliares dos macronutrientes cálcio (A), magnésio (B) e potássio (C) para indivíduos de <i>Acrocomia aculeata</i> irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ). .....	52
Figura 21. As concentrações foliares do macronutriente enxofre (S) para indivíduos de <i>Acrocomia aculeata</i> irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ). .....	53
Figura 22. Correlação entre concentrações foliares de nitrogênio (N) e enxofre (S) para indivíduos de <i>Acrocomia aculeata</i> irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF) durante as estações seca e chuvosa. ....	54
Figura 23. Concentrações foliares de cobre (A), zinco (B), alumínio (C), boro (D), ferro (E) e manganês (F) para indivíduos de <i>Acrocomia aculeata</i> irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ). .....	55
<b>Capítulo 2</b>	
Figura 1. Localização da área de estudo no interior do Campo Experimental da Embrapa Cerrados – CPAC. A área destacada em vermelho representa o experimento de adubação (Fonte: <a href="http://maps.google.com.br">http://maps.google.com.br</a> , acesso: 19/11/2010).....	68
Figura 2. Médias mensais dos dados climáticos do período de estudo fornecidos pela estação meteorológica do CPAC. A – Precipitação e umidade relativa do ar; B – Temperatura e radiação solar. ....	69
Figura 3. Desenho do experimento de adubação (sem escala). Os números romanos representam os blocos, os retângulos representam as parcelas e seus respectivos tratamentos e os círculos representam os exemplares de <i>Acrocomia aculeata</i> , cinco por parcela. A seta indica o sentido da declividade do terreno. ....	70
Figura 4. Potencial hídrico foliar da madrugada (A) e do meio-dia (B) para indivíduos de <i>Acrocomia aculeata</i> adubados e não adubados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ). .....	75
Figura 5. Trocas gasosas foliares. Condutância estomática (A); Transpiração foliar (B); Assimilação máxima de $CO_2$ sob saturação de luz (C) para indivíduos de <i>Acrocomia aculeata</i> adubados e não adubados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ). .....	77
Figura 6. Relação entre a assimilação máxima de $CO_2$ ( $A_{CO_2}$ ) e a condutância estomática ( $g_s$ ) para indivíduos de <i>Acrocomia aculeata</i> adubados e não adubados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF) durante as estações seca e chuvosa. As linhas são as funções não lineares resultantes do ajuste dos valores obtidos para todos os tratamentos dentro de cada estação.....	78
Figura 7. Eficiência do uso da água (A); Eficiência intrínseca do uso da água (B) para indivíduos de <i>Acrocomia aculeata</i> adubados e não adubados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ). .....	79

Figura 8. . Curvas diárias realizadas nas estações seca e chuvosa. A e E - Densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFF) e déficit de pressão de vapor de água atmosférico (DPV); B e F - Condutância estomática ( $g_s$ ); C e G - Transpiração foliar (E); D e H - Assimilação de $CO_2$ ( $A_{CO_2}$ ). Os * indicam diferenças estatísticas significativas entre as estações, comparando-se o mesmo horário de coleta (ANOVA encontra-se no ANEXO VI). As barras representam o erro padrão (n=4). .....	81
Figura 9. Correlação entre condutância estomática ( $g_s$ ) e potencial hídrico da madrugada ( $\Psi_{mad}$ ) nas estações seca e chuvosa para indivíduos de <i>Acrocomia aculeata</i> adubados e não adubados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF).....	82
Figura 10. Curvas de resposta à luz para indivíduos de <i>Acrocomia aculeata</i> adubados e não adubados provenientes de São Paulo (A) e do Distrito Federal (B) durante as estações seca e chuvosa. Os símbolos representam os valores máximos reais de $A_{CO_2}$ para diferentes DFF e as linhas representam os mesmos valores ajustados pela equação da hipérbole não retangular. As barras representam o erro padrão (n=4). .....	83
Figura 11. Área foliar específica para indivíduos de <i>Acrocomia aculeata</i> adubados e não adubados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão (n=4). .....	85
Figura 12. Número de folhas produzidas de setembro de 2009 a outubro de 2010 (A); Comprimento das folhas (B) para indivíduos de <i>Acrocomia aculeata</i> adubados e não adubados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão (n=4). .....	86
Figura 13. Concentração foliar de pigmentos: Clorofila <i>a</i> (A); Clorofila <i>b</i> (B); Carotenos (C); Razão Clorofilas <i>a+b</i> /Carotenos (D) para indivíduos de <i>Acrocomia aculeata</i> adubados e não adubados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão (n=4). .....	88
Figura 14. Concentrações foliares de Nitrogênio (A) e Fósforo (B) para indivíduos de <i>Acrocomia aculeata</i> adubados e não adubados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF) nas estações seca e chuvosa. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão (n=4).....	89
Figura 15. Correlação entre concentrações foliares de nitrogênio (N) e fósforo (P) para indivíduos de <i>Acrocomia aculeata</i> adubados e não adubados, valores agrupados por estação (A) e por população (B). .....	90
Figura 16. Razão entre N e P (A) e eficiência do uso de N (B) para indivíduos de <i>Acrocomia aculeata</i> adubados e não adubados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF) nas estações seca e chuvosa. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão (n=4).....	91
Figura 17. Concentrações foliares dos macronutrientes Cálcio (A), Potássio (B) e Fósforo (C) para indivíduos de <i>Acrocomia aculeata</i> adubados e não adubados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF) nas estações seca e chuvosa. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão (n=4). .....	93
Figura 18. Concentrações foliares do macronutriente enxofre (S) para indivíduos de <i>Acrocomia aculeata</i> adubados e não adubados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF) nas	

estações seca e chuvosa. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).....	94
Figura 19. Correlação entre concentrações foliares de nitrogênio (N) e enxofre (S) para indivíduos de <i>Acrocomia aculeata</i> adubados e não adubados, valores agrupados por estação (A) e por tratamento de adubação (B). .....	95
Figura 20. Concentrações foliares de cobre (A), zinco (B), alumínio (C), boro (D), ferro (E) e manganês (F) para indivíduos de <i>Acrocomia aculeata</i> adubados e não adubados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).....	96

## Anexos

ANEXO I. Comandos utilizados no programa estatístico gratuito “R” para o ajuste das curvas de resposta à luz (Capítulo 1).....	106
ANEXO II. Valores das ANOVA’s para as curvas diárias realizadas nas estações seca e chuvosa (Capítulo 1).....	107
ANEXO III. Valores das ANOVA’s para as curvas de resposta à luz (Capítulo 1).....	113
ANEXO IV. Valores de ANOVA’s para os pigmentos fotossintetizantes (Capítulo 1).....	115
ANEXO V. Valores de ANOVA’s para micronutrientes (Capítulo 1).....	117
ANEXO VI. Valores das ANOVA’s para as curvas diárias realizadas nas estações seca e chuvosa (Capítulo 1).....	119
ANEXO VII. ANOVA’s das curvas de resposta à luz comparando-se os valores dos parâmetros entre as estações seca e chuvosa (Capítulo 2).....	129
ANEXO VIII. Valores de ANOVA’s para os pigmentos fotossintetizantes (Capítulo 2).....	131
ANEXO IX. Valores de ANOVA’s para os macronutrientes CA, Mg e K (Capítulo 2).....	132
ANEXO X. Valores de ANOVA’s para os micronutrientes e alumínio (Capítulo 2).....	133

## Resumo

Neste estudo foram avaliadas as respostas fotossintéticas e nutricionais de duas populações, uma de São Paulo e outra do Distrito Federal, da palmeira *Acrocomia aculeata* submetidas à irrigação, fertilização e sazonalidade climática. Para isso foram desenvolvidos dois experimentos no Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados – Embrapa Cerrados (Planaltina – DF). O primeiro experimento compreendeu parcelas irrigadas e não irrigadas enquanto o segundo, parcelas adubadas e não adubadas. No primeiro, o efeito da irrigação foi positivo para os valores de potencial hídrico da madrugada ( $\Psi_{\text{mad}}$ ), transpiração foliar (E) sob saturação de luz, condutância estomática ( $g_s$ ), assimilação de  $\text{CO}_2$  ( $A_{\text{CO}_2}$ ) e E das curvas diárias da estação seca. As concentrações foliares mais altas de Ca e Mg foram encontradas na estação chuvosa; de K e Al na seca; e de B na população de São Paulo (SP). No segundo experimento, a adubação aumentou a produção de folhas e a razão clorofilas/carotenos; os teores de Zn foram maiores para a população de SP; e não houve variações significativas entre as estações dos teores de Mg, Al, B, Fe e  $\Psi_{\text{med}}$ . Em ambos os experimentos, os valores de  $g_s$ ,  $A_{\text{CO}_2}$ , E sob luz de saturação, curvas diárias,  $\Psi_{\text{mad}}$ , pigmentos fotossintéticos e concentrações foliares de N, S e Cu foram maiores na estação chuvosa. A eficiência intrínseca do uso da água, a eficiência do uso de nitrogênio e a concentração de Zn foram maiores na seca. Os valores de área foliar específica, N, Ca e S foram mais altos para a população de SP e não houve variação significativa da eficiência fotossintética. Conclui-se que no primeiro experimento o suprimento de água utilizado no tratamento de irrigação não foi suficiente para remover os efeitos do déficit hídrico durante o período de seca. No segundo, a adubação não influenciou o metabolismo fotossintético, mas induziu o aumento da produtividade de folhas. Em ambos, houve uma forte influência da sazonalidade das chuvas e da origem das populações nos principais parâmetros avaliados.

Palavras chaves: Macaúba, atributos foliares, condutância estomática, fotossíntese, déficit hídrico, nutrição mineral, eficiência fotossintética.

## Abstract

This study evaluated photosynthetic and nutritional responses from two populations (one from São Paulo and the other from Distrito Federal) of the palm *Acrocomia aculeata* submitted to irrigation, fertilization and climate seasonality. For this purpose two experiments were carried in the Agricultural Research Center of the Cerrado - Embrapa Cerrados (Planaltina - DF). The first experiment consisted of irrigated and non irrigated plots, while the second, consisted of fertilized and unfertilized plots. In the first experiment, the effect of irrigation was positive for values of predawn water potential ( $\Psi_{pd}$ ), leaf transpiration (E) under light saturation, stomatal conductance ( $g_s$ ),  $CO_2$  assimilation ( $A_{CO_2}$ ) and E daily curves and midday of the dry season. The highest leaf concentrations of Ca and Mg were found in the rainy season; of K and Al in dry season; and of B in the population of São Paulo (SP). In the second experiment, fertilization increased leaf production and the ratio chlorophylls /carotenoids; the level of Zn were higher for the population of SP; and there were not significant variations between seasons for values of Mg, Al, Fe, B and  $\Psi_{md}$ . In both experiments, the values of  $g_s$ ,  $A_{CO_2}$ , E under light saturation, the daily curves,  $\Psi_{pd}$ , photosynthetic pigments and leaf concentrations of N, S and Cu were higher in the rainy season. The intrinsic efficiency of water use, the efficiency of nitrogen use and Zn were higher in the drought. The values of specific leaf area, N, Ca and S were higher for the population of SP and there was not significant variation in photosynthetic efficiency. It can be concluded that in the first experiment the water supply provided for the irrigation treatment was not sufficient to remove the effects of water deficit during the dry period. In the second, fertilization did not influence the photosynthetic metabolism, but induced an increase in productivity of leaves. In both there was a strong influence of seasonal rains and the origin of the populations in key parameters.

Keywords: Macaúba, leaf traits, stomatal conductance, photosynthesis, water stress, mineral nutrition, photosynthesis efficiency.

## 1. Introdução Geral

As concentrações atmosféricas globais de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) aumentaram significativamente em consequência das atividades humanas desde 1750 e atualmente ultrapassam em alto grau os valores pré-industriais. Os aumentos globais da concentração de CO<sub>2</sub> se devem principalmente ao uso de combustíveis fósseis e ao uso da terra (IPCC, 2007).

Dependendo do cenário de emissões de gases de efeito estufa até 2100, a temperatura global média à superfície pode subir de 1,5°C até 5,5°C (IPCC, 2007), onde se estima que o aumento da temperatura global média acima de 3°C já seria suficiente para causar impactos adversos em inúmeros setores econômicos e na biodiversidade (Marengo, 2007; Nobre *et al.*, 2007).

O aumento da temperatura induz a maior evapotranspiração, reduzindo a quantidade de água no solo, mesmo que as chuvas não diminuam significativamente. Este fator pode desencadear a substituição dos biomas existentes hoje por outros mais adaptados a climas com menor disponibilidade hídrica para as plantas (Nobre *et al.*, 2007).

A combinação do aquecimento e das mudanças na precipitação indica menor disponibilidade de água para grandes porções da floresta tropical, e também fortes impactos na agricultura e nos recursos hídricos (Nobre *et al.*, 2007; Embrapa, 2008). Para as próximas décadas, as mudanças do clima devem ser tão intensas a ponto de mudar a geografia da produção agrícola nacional. Algumas culturas como a mamona, girassol, milho e soja, terão suas áreas de cultivo reduzidas com as elevações de temperatura e secas previstas (Schaeffer *et al.*, 2008; Embrapa, 2008).

Portanto, devido às prováveis consequências das mudanças climáticas, principalmente intensificação dos períodos de estiagem, há a necessidade da diversificação da malha energética brasileira (Schaeffer *et al.*, 2008). Dados publicados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE - Brasil), em 2008, mostraram que as usinas hidrelétricas respondiam por 72,6% da geração de energia elétrica, indicando que investir em diferentes tecnologias geradoras de energia seria a solução de uma crise energética potencial.

Uma das maneiras de diversificar as fontes de energia e, conseqüentemente, reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> é diminuir o uso de combustíveis fósseis e aumentar o uso de energias alternativas, como os biocombustíveis. O biodiesel é um combustível biodegradável derivado de

fontes de matéria-prima renováveis (Peres & Beltrão, 2006). As matérias primas para a produção de biodiesel são os óleos vegetais, a gordura animal, os óleos e as gorduras residuais. Algumas das fontes para a extração de óleo vegetal com potencial na produção de biodiesel são: a mamona (*Ricinus communis* L.), o dendê (*Elaeis guineensis* Jacq.), o babaçu (*Orbignya speciosa* Mart.), o girassol (*Helianthus annuus* L.), a soja (*Glycine max* L.), a semente de algodão (*Gossypium hirsutum* L.), a canola (*Brassica napus* L.), o pinhão manso (*Jatropha curcas* L.), o pequi (*Caryocar brasiliense* Cambess.), a macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.), entre outras espécies (Tamunaidu, 2007; Peres & Beltrão, 2006; Chew & Bhatia, 2009; Chin *et al.*, 2009).

Dentre as fontes de matéria-prima para a produção do biodiesel destaca-se a espécie *Acrocomia aculeata*, uma palmeira nativa de florestas tropicais. No Brasil, sua dispersão vai desde o Pará até São Paulo, Rio de Janeiro e Mato Grosso do Sul (Lorenzi, 1996), é frequentemente encontrada em áreas de pastagens (Scariot *et al.*, 1987) e considerada uma espécie pioneira (Motta *et al.*, 2002).

*Acrocomia aculeata* (Jacquin) Loddies, pertence à família Arecaceae Bercht. & J. Presl., é uma espécie monóica e sua altura máxima varia de 14 a 20 metros. Possui estipe solitário, aéreo, inicialmente coberto pelas bases foliares que são armadas com acúleos. O número de folhas varia de 24 a 35, e atinge cerca de 9m de comprimento. Os tamanhos dos folíolos variam ao longo da folha: basais: 79-100 x 0,55-1,6 cm; medianos: 82-103 x 1,35-3,1 cm; apicais: 42-76,5 x 0,6-2,75 cm (Martins, 2000).

Em *A. aculeata*, a produção de novas folhas e a queda de folhas velhas ocorre durante o ano todo garantindo um crescimento contínuo, tanto na estação seca como na chuvosa. A produção de inflorescências ocorre somente em indivíduos com no mínimo 1,5 m de altura (do solo a inserção da inflorescência), possivelmente porque a energia é direcionada para o crescimento e desta forma pode aumentar sua biomassa foliar fotossintetizadora (Scariot, 1987).

Os eventos fenológicos de floração e de frutificação concentram-se no período chuvoso. A floração inicia com o término do período seco estendendo-se através dos meses chuvosos até dezembro, com um pico em outubro e novembro. A frutificação (queda dos frutos) estende-se durante o período de junho a março, com um pico em novembro. A maturação dos frutos dura o período de um ano, com sobreposição da floração e da frutificação (Scariot *et al.*, 1991;1995).

Diferentes espécies de insetos, das ordens Hymenoptera, Thysanoptera e Coleoptera, visitam sua inflorescência que é utilizada como sítio de alimentação, proteção, acasalamento e reprodução (Scariot, 1998). A combinação das estratégias de polinização (insetos e vento) com um sistema reprodutivo flexível (polinização cruzada e autopolinização) sugere que *A. aculeata* pode ser altamente competitiva na colonização de áreas novas (Scariot *et al.*, 1991), o que é evidenciado pela ampla distribuição desta espécie. A dispersão dos frutos é realizada por animais silvestres (*Didelphis albiventris* (gambá), *Nectomys squamipes* (rato d'água), *Cebus apella* (macaco-prego), *Turdus* sp. (sabiá), *Dasyprocta* sp. (cutia), *Cuniculus paca* (paca)) e animais domésticos (*Bos taurus*, gado bovino) (Scariot, 1998).

Apesar da importância ambiental e econômica atribuída à *Acrocomia aculeata*, suas respostas ecofisiológicas às variações ambientais ainda não são conhecidas. Portanto, o objetivo geral deste trabalho foi analisar o efeito da sazonalidade climática de cerrado sobre diferentes parâmetros relacionados ao balanço hídrico, balanço de carbono e nutrição mineral, e como estes parâmetros respondem aos tratamentos de irrigação e adubação e influenciam na produtividade de duas populações geograficamente distantes entre si. O conhecimento gerado por esse estudo poderá ser utilizado na seleção de genótipos mais produtivos e no planejamento do manejo sustentado visando o melhor aproveitamento e a conservação dessa espécie.

## 2. Referências Bibliográficas

Chew, T.L. & Bhatia, S. (2009) Effect of catalyst additives on the production of biofuels from palm oil cracking in a transport riser reactor. *Bioresource Technology*, **100**: 2540–2545.

Chin, L.H.; Hameed, B.H., Ahmad, A.L. (2009) Process optimization for biodiesel production from waste cooking palm oil (*Elaeis guineensis*) using response surface methodology. *Energy & Fuels*, **23**: 1040–1044.

Embrapa (2008) Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil. Coord: Jaime Gesisky Deconto. Fonte: <http://www.embrapa.br/publicacoes/tecnico/aquecimentoglobal.pdf>. Acesso em 20/04/2009.



Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (Brasil) (2008) *Balanço energético nacional 2008: Ano base 2007*. Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE. 244 p.

IPCC (2007) Quarto Relatório de avaliação grupo de trabalho 1 do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC). Sumário para os formuladores de políticas. Fonte: <http://www.ipcc.ch>. Acesso em 07/04/2009.

Lorenzi, H. (1996) *Palmeiras no Brasil: exóticas e nativas*. Nova Odessa, SP: Ed. Plantarum, 303p.

Marengo, J.A. (2007) *Mudanças climáticas globais e efeitos sobre a biodiversidade: Caracterização do clima e definição de alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI*. Brasília: MMA. 2ª ed. 212p. (Série Biodiversidade, v. 26).

Martins, R.C. (2000) *Araceae (Palmae) no Distrito Federal, Brasil*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Botânica. Instituto de Ciências Biológicas. Universidade de Brasília.

Motta, P.E.F., Curi N., Oliveira-Filho A.T., Gomoies J.B.V. (2002) Ocorrência de macaúba em Minas Gerais: relação com atributos climáticos, pedológicos e vegetacionais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **37**: 1023-1031.

Nobre, C.A., Salazar, L.F., Oyama, M., Cardoso, M., Sampaio, G., Lapola, D. (2007) Relatório No. 6: Mudanças Climáticas e possíveis alterações nos biomas da América do Sul. In: *Mudanças climáticas globais e efeitos sobre a biodiversidade: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI*. CPTEC/INPE. IAE/CTA. São Paulo, Brasil.

Peres J.R.R. & Beltrão N.E.M. (2006) Oleaginosas para biodiesel: situação atual e potencial. In: Ferreira J. R. e Cristo C. M. P. N. coordenadores. *O futuro da indústria: biodiesel*. – Brasília : MDIC-STI/IEL. 145 p. Disponível em: <http://www.biodiesel.gov.br/>. Acesso em: 01/05/2011.

Scariot, A. (1987) *Biologia reprodutiva de Acrocomia aculeata (Jacquin) Loddiges ex Martius (Palmae) no Distrito Federal*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Botânica. Instituto de Ciências Biológicas. Universidade de Brasília.

Scariot, A. Lleras, E., Hay, J.D. (1991) Reproductive biology of the palm *Acrocomia aculeata* in Central Brazil. *Biotropica*, **23**: 12-22.

Scariot, A. Lleras, E., Hay, J.D. (1995) Flowering and fruiting phonologies of the palm *Acrocomia aculeata*: patterns and consequences. *Biotropica*, **27**: 168-173.

Scariot, A (1998) Seed dispersal and predation of the palm *Acrocomia aculeata*. *Principes*, **4**(2): 5-8.

Schaeffer R., Szklo, A.S., Lucena, A.F.P., Souza, R.R., Borba, B.S.M.C., Costa, I.V.L., Pereira Júnior A.O., Cunha, S.H.F (2008) *Mudanças climáticas e segurança energética no Brasil*. Coord. Dominique Ribeiro. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 67 p.

Tamunaidu, P. (2007) Catalytic cracking of palm oil for the production of biofuels: optimization studies. *Bioresource Technology*, **98**: 3593–3601.

## **CAPÍTULO 1**

**Respostas Fotossintéticas e Nutricionais de Duas Populações de *Acrocomia aculeata* (Jacquin) Loddies ex Martius Submetidas à Irrigação e ao Déficit Hídrico Sazonal**

## 1. Introdução

As palmeiras são importantes componentes da vegetação em diferentes tipos de biomas tropicais e podem compor tanto o sub-bosque quanto o dossel das variadas formações vegetacionais. São importantes recursos alimentares de inúmeras espécies de animais, além de possuírem grande valor econômico, principalmente para as comunidades humanas tradicionais (Scariot, 1998; Lorenzi, 2006).

As variações sazonais na disponibilidade de água do solo e variações diurnas e sazonais na demanda de evaporação da atmosfera são consideráveis no bioma Cerrado, particularmente no Distrito Federal. Nessa região as chuvas se concentram entre os meses de outubro a abril (Kanegae *et al.*, 2000; Franco, 2004).

Estudos experimentais da resposta da palmeira *Acrocomia aculeata* ao déficit hídrico não foram realizados, apesar de existirem algumas indicações na literatura da sua ocorrência tanto em ambiente de solos férteis e maior disponibilidade hídrica (Motta *et al.*, 2002) quanto em ambientes de solos mais pobres e de disponibilidade de água sazonal (Lorenzi, 1996). De uma maneira geral, as palmeiras podem apresentar uma restrição considerável na abertura estomática dependendo da demanda evaporativa da atmosfera (Dufrene & Saugier, 1993; Calbo & Moraes, 2000; Passos *et al.*, 2009). Além disso, o fechamento parcial dos estômatos e as altas taxas de fotorrespiração nas horas de maior radiação solar resultam em uma redução na taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> ao longo do dia, o que impõe uma forte limitação na fotossíntese (Araus & Hogan, 1994; Franco & Lüttge, 2002). Portanto, a permanência de uma planta num ambiente com forte sazonalidade depende da manutenção de um balanço hídrico adequado durante o período seco e da redução dos efeitos do déficit hídrico no seu balanço anual de carbono.

Os ritmos fenológicos, especialmente o de produção e de perda de folhas, podem ser considerados como estratégias utilizadas pelas plantas para minimizarem ou escaparem dos prejuízos da alternância do regime hídrico (Franco, 2004). No entanto, a produção de folhas na *A. aculeata* é contínua, o que difere de outras espécies de palmeiras onde a tendência é concentrar a produção no período do ano de maior incidência de luz (De Steven *et al.*, 1987; Sampaio & Scariot, 2008). Dessa forma, as características das folhas produzidas durante os meses de estiagem podem se diferenciar daquelas produzidas nos meses de chuvas, evidenciando os efeitos da sazonalidade do clima.

A sazonalidade no regime de chuvas também pode afetar o balanço nutricional. A concentração foliar adequada de macronutrientes é um dos fatores determinantes para um perfeito ajuste metabólico das plantas aos ambientes que ocupam (Aerts & Chapin, 2000). Os valores máximos de assimilação  $\text{CO}_2$  geralmente apresentam uma correlação positiva com as concentrações de nitrogênio da folha, assim como a área foliar específica (Reich *et al.*, 1998; Franco *et al.*, 2005). Os teores foliares de nutrientes podem estar relacionados tanto com a disponibilidade hídrica sazonal quanto com os mecanismos de absorção e translocação relacionados à idade da folha (Franco *et al.*, 2005; Araújo & Haridasan, 2007). As concentrações de pigmentos como as clorofilas *a* e *b* e os carotenos também são influenciadas pela disponibilidade de nutrientes no solo e a capacidade de absorção dos mesmos pelas plantas (Evans, 1989; Gonçalves *et al.*, 2001). Em um estudo com espécies arbóreas do cerrado, Carvalho *et al.* (2007) relataram um aumento nas concentrações dos pigmentos foliares durante o período de chuvas, indicando que a disponibilidade hídrica é um fator que pode afetar a produção dos mesmos e, conseqüentemente a capacidade fotossintética das plantas.

Estudos de produtividade e da resposta das plantas às condições ambientais devem considerar que diferenças ecofisiológicas e morfológicas entre populações de uma mesma espécie podem ser encontradas, dependendo das características do ambiente em que se desenvolvem (Rocha Filho & Lomônaco, 2006; Lemos Filho *et al.*, 2008). Portanto, o estudo de diferentes populações pode auxiliar na seleção de genótipos mais produtivos, mais resistentes ao déficit hídrico sazonal e, especificamente para a *A. aculeata*, com menor estatura e densidade de espinhos, o que facilitaria seu manejo.

De uma maneira geral, a disponibilidade hídrica é um fator que limita a produtividade das espécies no Centro-Oeste tanto em sistemas de cultivo quanto em sistemas naturais (Nazareno *et al.*, 2003; Franco, 1998; Franco & Lüttge, 2002). Assim, mesmo possuindo estratégias para minimizar os efeitos do déficit hídrico e da forte demanda evaporativa da atmosfera, estes fatores devem impor uma forte limitação na assimilação de  $\text{CO}_2$  desta espécie. Portanto, espera-se que os resultados encontrados demonstrem que, através da irrigação, o maior suprimento de água deve favorecer a abertura estomática no período do dia de maiores intensidades de luz e de temperatura, o que implicaria em maior assimilação líquida de gás carbônico refletindo no aumento da produtividade que poderá ser detectada pelo aumento da área foliar específica, do comprimento e da produção de folhas em indivíduos jovens.

Também é esperado que as folhas produzidas durante a estação seca apresentem menores concentrações de macro e micronutrientes, e conseqüentemente de pigmentos fotossintéticos, devido à disponibilidade reduzida em conseqüência da menor quantidade de água no solo, e maior eficiência do uso da água quando comparadas àquelas produzidas durante a estação chuvosa. Estas diferenças não seriam detectadas nas plantas irrigadas em que os efeitos do déficit hídrico seriam removidos.

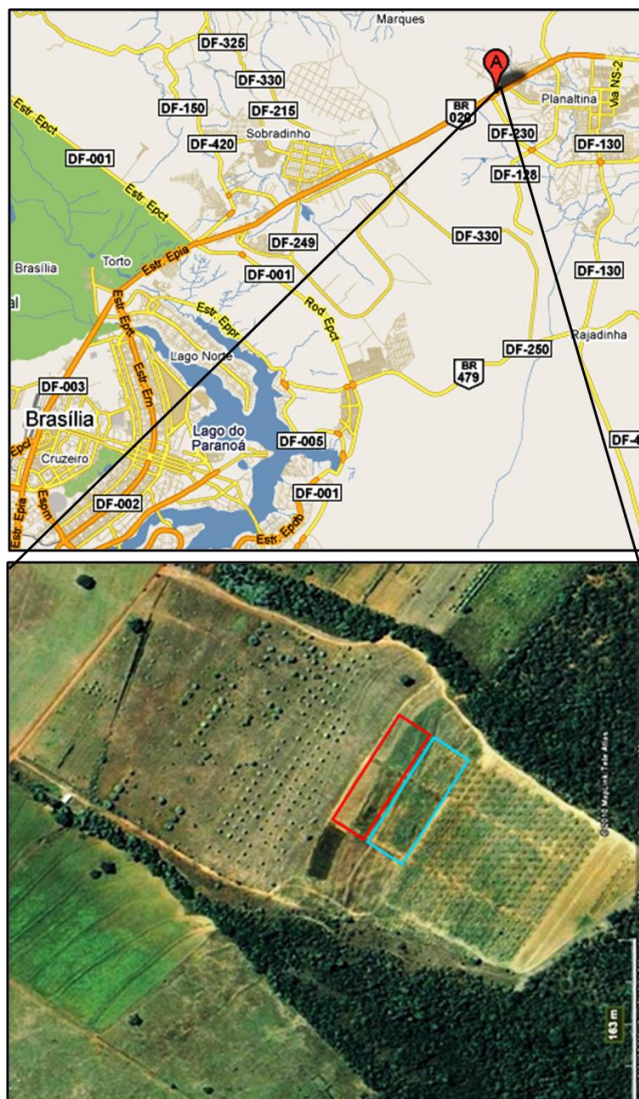
Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar as respostas fotossintéticas e nutricionais de exemplares da *Acrocomia aculeata* submetidos à irrigação e ao déficit hídrico sazonal do cerrado através da análise de parâmetros ecofisiológicos relacionados ao balanço hídrico, balanço de carbono e nutrição mineral. Os resultados gerados por este estudo poderão contribuir com informações sobre o controle estomático do status hídrico de plantas estressadas e não estressadas e possíveis indicadores utilizados na seleção de genótipos mais tolerantes a seca.

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Área de estudo e desenho experimental

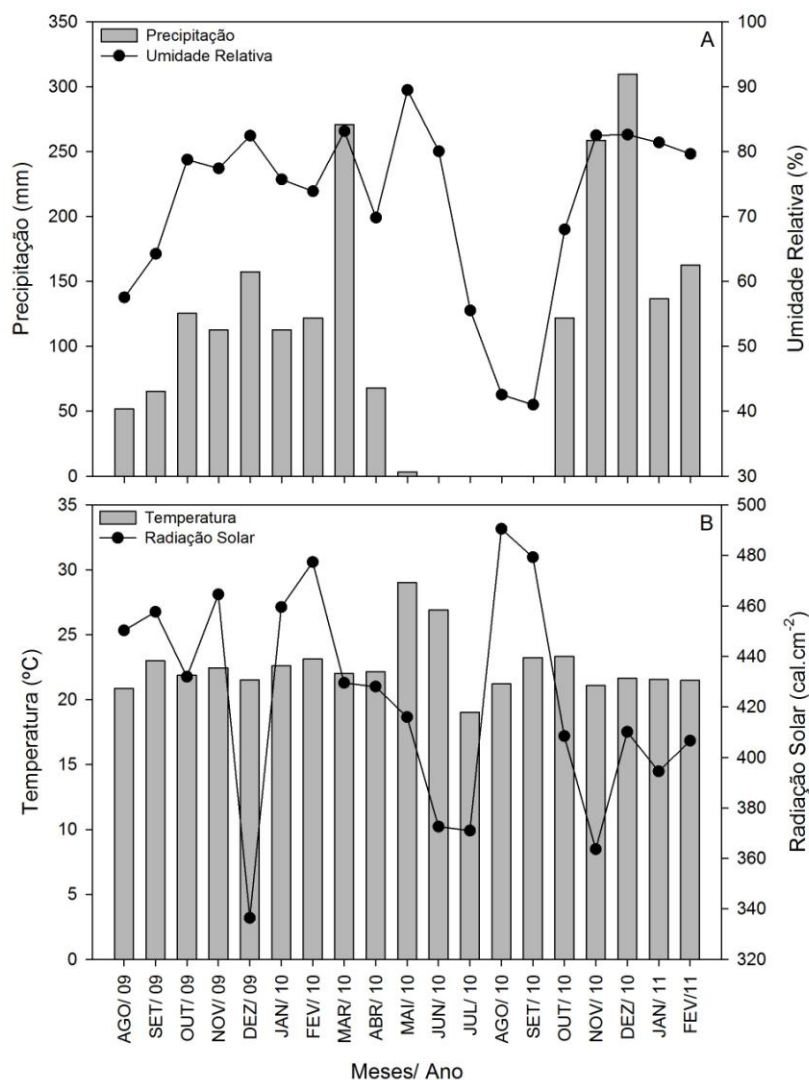
O estudo foi realizado no Campo Experimental do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC) – Embrapa Cerrados (km 18 da BR 020), município de Planaltina, DF, a 35 km de Brasília, sob coordenadas geográficas 15°60' S e 47°73' W. O relevo da área do experimento apresenta declividade leve, solo do tipo Latossolo vermelho e amarelo, profundo e bem drenado (Embrapa, 1999). A vegetação original era de cerrado típico, mas anteriormente à implantação do experimento havia o cultivo da gramínea do gênero *Brachiaria*. A Figura 1 destaca o local onde se localiza o experimento no interior do CPAC, o retângulo azul representa o experimento de irrigação, e mostra que em seu entorno há áreas de cultivo e fragmentos de cerrado.

Os dados climatológicos do período de estudo (setembro de 2009 a fevereiro de 2011) foram fornecidos pela estação meteorológica localizada no CPAC. A precipitação em 2010 decresceu acentuadamente nos meses de abril a maio, sendo que os meses de junho a setembro praticamente não foi registrado nenhum índice de chuvas (Figura 2A).



**Figura 1.** Localização da área de estudo no interior do Campo Experimental da Embrapa Cerrados – CPAC. A área destacada em azul representa o experimento de irrigação (Fonte: <http://maps.google.com.br>, acesso: 19/11/2010).

A estação seca em 2010 foi mais intensa e prolongada, estendendo-se sem chuvas até final de setembro. Em contrapartida, a estação chuvosa de outubro de 2010 a fevereiro de 2011 foi mais intensa que a anterior. A umidade relativa do ar manteve entre 70 e 90% durante os meses chuvosos atingindo níveis médios abaixo de 60% nos meses de mais secos (Figura 2A). As temperaturas médias máximas ocorreram nos meses de maio e junho de 2010 e as mínimas, em julho e agosto do mesmo ano (Figura 2B). Os menores valores médios de radiação solar coincidem com os meses de dezembro de 2009 e novembro de 2010 a janeiro de 2011 (Figura 2B).



**Figura 2.** Médias mensais dos dados climáticos do período de estudo fornecidos pela estação meteorológica do CPAC. A – Precipitação e umidade relativa do ar; B – Temperatura e radiação solar.

O experimento apresenta um delineamento fatorial 2 x 2 em blocos casualizados e quatro repetições para cada tratamento. O delineamento em blocos foi adotado devido a diferenças na presença de alumínio e de potássio no solo, de acordo com a análise realizada em maio de 2008 pela Embrapa Cerrados. Os tratamentos foram combinados em parcelas irrigadas com exemplares provenientes do Estado de São Paulo e do Território do Distrito Federal (DF) e não irrigadas com exemplares procedentes de SP e do DF (Figura 3).

Os exemplares oriundos de SP foram retirados do município de Buritizal (20°14' S e 47°44,70' W) e os originários do DF, da cidade satélite de Paranoá (15°53' S e 47°24' W).

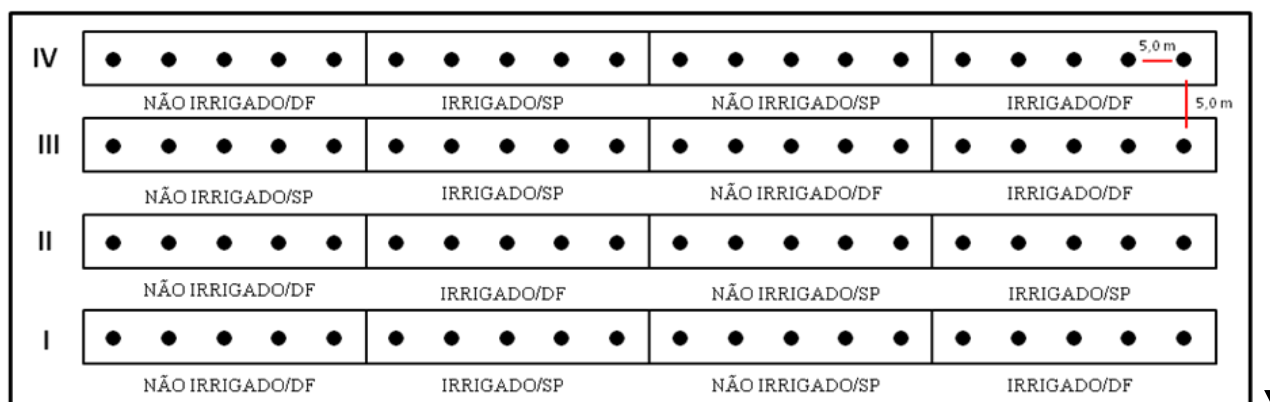


Devido à difícil germinação apresentada pela *A. aculeata* (Bandeira, 2008; Moura *et al.*, 2009), optou-se pela extração de mudas já formadas de seu local de origem. Estas foram selecionadas de acordo com sua proximidade em altura e idade, em seguida foram transplantadas no campo experimental do CPAC.

Em relação à origem das populações, as parcelas foram distribuídas ao acaso em quatro blocos. No entanto, para evitar que a lâmina d'água alcançasse as parcelas não irrigadas devido à declividade do terreno, o tratamento de irrigação não pode ser aleatorizado permanecendo lado a lado somente parcelas irrigadas ou não irrigadas (Figura 3). Contudo, para fins de análises estatísticas os blocos foram considerados casualizados. O experimento possui 16 parcelas compostas por cinco plantas com espaçamento de cinco metros entre si e entre as parcelas.

Anteriormente ao plantio, foi aplicada em toda a área 3,0Mg de Calcário/ha e 2 Mg de Gesso/ha para corrigir a acidez do solo. Imediatamente após o plantio, realizado em dezembro de 2008, todas as parcelas receberam 300g de adubo NPK (4:30:16) na cova. A partir do mês de junho de 2009, as parcelas irrigadas passaram a receber 200g da mistura de sulfato de amônia, superfosfato simples e cloreto de potássio (2:1:1) em intervalos de três meses (jun/2009; set/2009; dez/2009; mar/2010; jun/2010; set/2010; dez/2010). A aplicação da mesma quantidade de adubo nas parcelas não irrigadas foi iniciada nos primeiros dias do mês de dezembro de 2009 e mantida também em intervalos de três meses. As parcelas irrigadas foram fertilizadas também durante a estação seca com o objetivo de evitar que o suprimento de nutrientes se tornasse um fator limitante e, dessa forma, maximizar o efeito da irrigação. A irrigação teve início no sexto mês após o plantio, e foi realizada pelo sistema de gotejamento, duas vezes por semana, no período da manhã, totalizando 64L de água por planta por semana. Durante a estação chuvosa o sistema de irrigação não foi acionado.

Os parâmetros analisados foram amostrados durante os dias que compreenderam os picos das estações seca, nos meses de setembro de 2009 e agosto de 2010, e chuvosa, nos meses de janeiro e fevereiro de 2010 e janeiro de 2011. Com exceção dos nutrientes foliares e do alumínio que foram amostrados somente em setembro de 2009 e janeiro de 2010. Para os procedimentos de coleta que não permitiram amostrar todos os indivíduos da parcela no mesmo dia a amostragem ocorreu em indivíduos previamente sorteados.



**Figura 3.** Desenho do experimento de irrigação (sem escala). Os números romanos representam os blocos, os retângulos representam as parcelas e seus respectivos tratamentos e os círculos representam os exemplares de *Acrocomia aculeata*, cinco por parcela. A seta indica o sentido da declividade do terreno.

## 2.2. Potencial hídrico foliar

O potencial hídrico foliar foi obtido utilizando-se uma câmara de pressão (Model1000/PMS-USA) em dois períodos do dia, entre 3:00h e 6:00h e entre 12:00h e 14:00h. Foram amostradas duas plantas por parcela. Os valores de potencial hídrico da madrugada foram obtidos da última folha expandida de cada planta e os valores do meio-dia, da penúltima folha expandida.

## 2.3. Trocas gasosas foliares

Para obter os dados de assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  ( $A_{\text{CO}_2}$ ), condutância estomática ( $g_s$ ) e transpiração foliar ( $E$ ) foi utilizado um analisador de gás por infravermelho portátil (IRGA) LC-PRO (ADC, Hoddesdon, UK). O sistema também mede a temperatura do ar no interior da câmara foliar, a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFF), a temperatura foliar e a concentração de  $\text{CO}_2$  atmosférico. As medidas foram tomadas sempre na última folha totalmente expandida, sendo os folíolos (dois ou mais) dispostos de maneira que ocupassem toda a área da câmara foliar sem se sobreporem e em apenas um indivíduo sorteado por parcela.

As curvas de resposta à luz foram realizadas utilizando-se diferentes densidades de fluxo de fótons (DFF= 2000, 1400, 1200, 1000, 800, 600, 400, 200, 150, 50, 20 e 0  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ), em ordem decrescente, na faixa da radiação fotossinteticamente ativa, de 400 a 700nm, com

intervalos de três minutos entre cada leitura em temperatura constante de 25°C. Foi utilizada a fonte de luz composta por lâmpadas de LED azuis e vermelhas do próprio LC-PRO.

Os valores obtidos através das curvas de resposta à luz foram ajustados ao modelo de hipérbole não retangular indicado por Thornley (1976):

$$A = \frac{\alpha Q + (A_{\max} + R_d) - \sqrt{[(\alpha Q + (A_{\max} + R_d))^2 - 4\xi\alpha Q(A_{\max} + R_d)]}}{2\xi} - R_d$$

sendo que A é a taxa de fotossíntese líquida, Q é a DFF incidente na folha,  $\alpha$  é o rendimento quântico da fotossíntese,  $A_{\max}$  é a taxa fotossintética líquida máxima,  $R_d$  é a respiração mitocondrial e  $\xi$  define o grau de convexidade da curva. Para obter os valores dessas variáveis, os valores reais obtidos no campo foram analisados através do programa estatístico gratuito R versão 2.11.1 (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria; Anexo I). Os resultados obtidos através do ajuste dos valores reais ao modelo de hipérbole não retangular foram comparados com os valores reais de assimilação máxima de CO<sub>2</sub> ( $A_{\max\text{real}}$ ) e respiração no escuro ( $R_{\text{dreal}}$ ) obtidos no campo.

Os valores máximos de  $A_{\text{CO}_2}$ , E e  $g_s$  foram retirados das curvas de resposta à luz citadas anteriormente, porém não ajustadas pela equação da hipérbole não retangular, e especificamente sob a DFF de 2000  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

As medidas de  $A_{\text{CO}_2}$ ,  $g_s$  e E realizadas ao longo do dia foram tomadas nos períodos entre 8:00 e 9:00 h, 10:00 e 11:00h, 12:00 e 13:00h, 14:00 e 15:00h e 16:00 e 17:00h, sob condições de luz e de temperatura do ambiente, em triplicatas a cada 20 segundos após um período de aclimação de um a 1,5 minutos, em dois ou mais folíolos da última folha totalmente expandida.

#### 2.4. Eficiência do uso da água e razão isotópica de C ( $\delta^{13}\text{C}$ )

Os valores da eficiência do uso da água (EUA) foram obtidos através da razão entre a assimilação líquida de CO<sub>2</sub> e a transpiração foliar. Já os valores da eficiência intrínseca do uso da água (EIUA) foram obtidos através da razão entre a assimilação líquida de CO<sub>2</sub> e a condutância estomática (Larcher, 2004).

A razão isotópica de C ( $\delta^{13}\text{C}$ ) foi determinada segundo Colleta *et al.* (2006), no Laboratório de Ecologia Isotópica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade

de São Paulo (Piracicaba, SP). Em resumo, as amostras foram secas a 65°C, trituradas em moinho de bola e medidas através da combustão em um analisador elementar (Carlo Erba - Modelo 1110), acoplado a um espectrômetro de massa de razão isotópica (IRMS Delta Plus, Finnigan Mat, San Jose, CA, EUA) operando em modo de fluxo contínuo. A partir dessas análises, os dados de  $\delta^{13}\text{C}$  foram obtidos utilizando-se a equação:

$$\delta^{13}\text{C} = (R_{\text{amostra}} - R_{\text{padrão}} - 1) \times 1000,$$

onde  $R_{\text{amostra}}$  e  $R_{\text{padrão}}$  são a razão  $^{13}\text{C}:^{12}\text{C}$  da amostra e do padrão PDB, respectivamente.

## 2.5. Área foliar específica, pigmentos fotossintéticos, macro e micronutrientes e alumínio foliares

Para determinar a área foliar específica (AFE), em  $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ , foram amostrados um folíolo da última folha totalmente expandida de cada planta dentro da parcela e obtida a razão entre a área média dos folíolos e a massa seca média após secagem dos mesmos em estufa, a 70°C por 72 horas, seguida de pesagem em balança de precisão ( $\pm 0,0001\text{g}$ ). A área do folíolo foi obtida cortando-o na forma de um quadrado com lados iguais e medindo-se com uma régua.

As concentrações das clorofilas *a* e *b* e de carotenos foram determinadas através do método proposto por Wellburn (1994), onde discos foliares de 2,00 cm de diâmetro foram colocados em tubos de centrífuga (Eppendorffe) de cor âmbar contendo 2,00 ml de DMF (N,N - dimetilformamida). Os tubos foram mantidos no escuro a uma temperatura de 4°C por um período de 48 horas. As amostras foram medidas no espectrofotômetro Genesys 2 (Termo Spectronic) sendo determinada a absorvância a 480, 645 e 663nm.

Para determinar as concentrações foliares dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S, dos micronutrientes B, Cu, Fe, Zn e Mn e do Al, foram coletados os folíolos de posição mediana da última folha totalmente expandida de todos os indivíduos da parcela. Estes foram lavados com água destilada e secos em estufa a 70°C, triturado em moinho do tipo Wiley e peneirados em peneiras de 2,0 mm.

As análises químicas do conteúdo de nutrientes foliares foram realizadas pelo Laboratório de Química Analítica de Plantas do CPAC – Embrapa Cerrados. Para a digestão do tecido foliar foi utilizada uma solução de ácido perclórico ( $\text{HClO}_4$ ) e peróxido de sódio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Em seguida, as concentrações foliares dos macro e micronutrientes e do Al foram determinadas por meio de espectrometria por emissão óptica por plasma de argônio, com exceção do nitrogênio que foi

detectado por meio de colorimetria em um espectrofotômetro UV-visível, conforme metodologia descrita por EMBRAPA (2005).

### *2.6. Eficiência do uso do Nitrogênio*

A eficiência do uso do N pode ser calculada através da razão entre os valores máximos da assimilação líquida de CO<sub>2</sub> e o conteúdo de N por unidade de área foliar (Hirose & Bazzaz, 1998).

### *2.7. Produção e comprimento de folhas*

O número médio de folhas produzidas foi contado a partir da última folha totalmente expandida marcada no mês de setembro de 2009 até a última folha completamente expandida no mês de outubro de 2010. O comprimento da última folha expandida de cada indivíduo foi amostrado no mês de junho de 2010, para isso utilizou-se uma trena e mediu-se o comprimento da nervura central a partir da inserção dos dois primeiros folíolos, próximos a base da folha, até a inserção dos últimos folíolos próximos a extremidade da folha.

### *2.8. Análise estatística*

Todos os dados foram analisados utilizando o software STATISTICA versão 8.0. A normalidade dos dados foi testada com teste de Shapiro-Wilk, apropriado para tamanhos amostrais pequenos. Os dados que não apresentaram normalidade foram transformados utilizando-se log na base 10. Para se determinar os efeitos da irrigação, da origem e da estação foi utilizada uma análise de variância de medidas repetidas com quatro fatores (Bloco, Estação, Tratamento de irrigação e Origem da população) seguido do Teste HSD de Tukey, onde foi adotado nível de significância a 5%. As figuras, assim como as regressões e correlações, foram efetuadas com o programa SigmaPlot versão 11.0 para Windows.

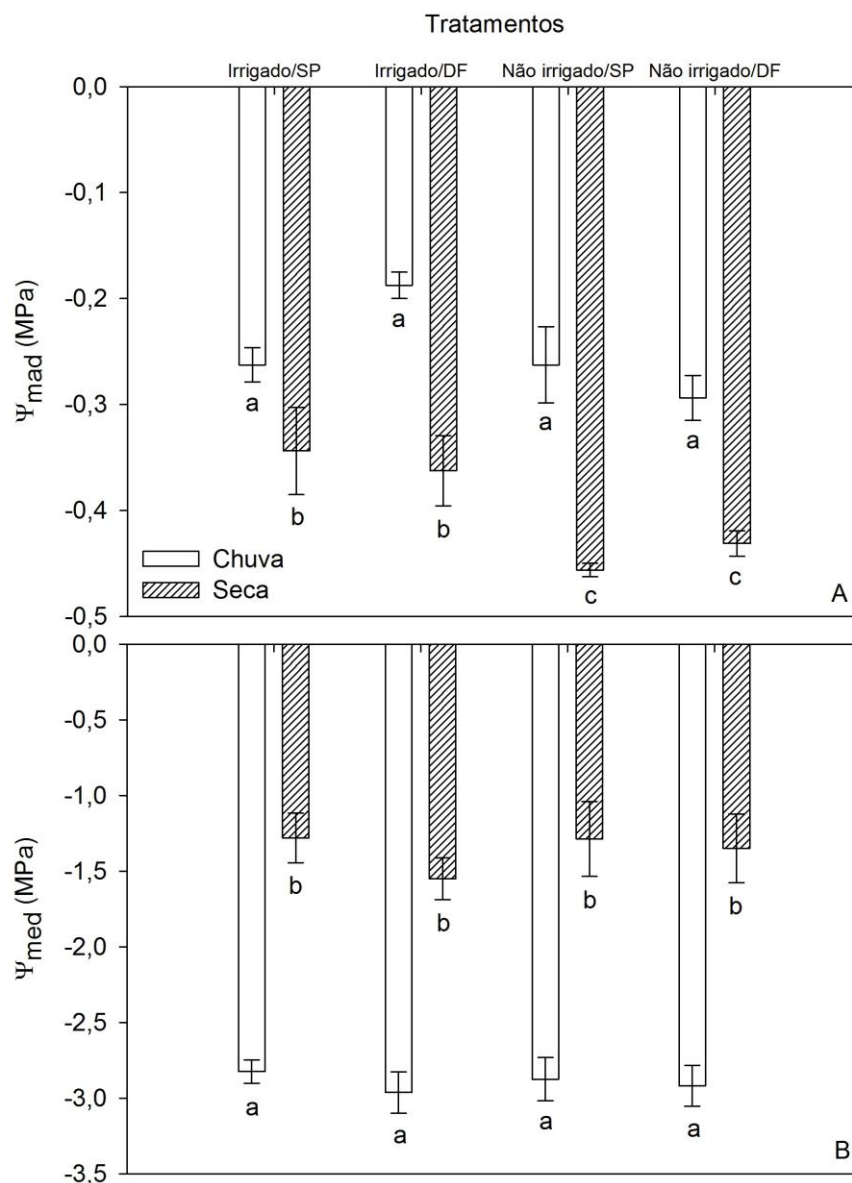
### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1. Potencial hídrico foliar, trocas gasosas foliares e eficiência do uso da água

A Figura 4 evidencia as diferenças existentes no potencial hídrico foliar medido antes do amanhecer ( $\Psi_{\text{mad}}$ ) e ao meio-dia ( $\Psi_{\text{med}}$ ), entre as estações seca e chuvosa, para os diferentes tratamentos aos quais foram submetidos os exemplares de *A. aculeata*. A análise estatística demonstrou que as diferenças observadas entre as parcelas irrigadas e não irrigadas (ANOVA:  $F_{1;9} = 13,53$ ;  $p < 0,01$ ) e entre as estações seca e chuvosa (ANOVA:  $F_{1;12} = 82,32$ ;  $p < 0,01$ ) foram significativas para o  $\Psi_{\text{mad}}$ . Além disso, houve uma interação significativa entre os fatores estação e tratamento de irrigação (ANOVA:  $F_{1;12} = 12,85$ ;  $p < 0,01$ ). No entanto, para o  $\Psi_{\text{med}}$ , foram encontradas diferenças significativas apenas entre as estações seca e chuvosa (ANOVA:  $F_{1;12} = 110,54$ ;  $p < 0,01$ ). As análises não revelaram diferenças significativas entre as populações originadas de São Paulo e do Distrito Federal, tanto no  $\Psi_{\text{mad}}$  (ANOVA:  $F_{1;9} = 0,5$ ;  $p > 0,05$ ) quanto no  $\Psi_{\text{med}}$  (ANOVA:  $F_{1;9} = 2,4$ ;  $p > 0,05$ ).

O  $\Psi_{\text{mad}}$  menos negativo para o tratamento irrigado na estação seca indica que a irrigação influencia na recuperação do turgor pela planta como era esperado, contudo tais valores diferem dos valores de  $\Psi_{\text{mad}}$  da estação chuvosa sugerindo que mesmo com a irrigação, a planta não conseguiu atingir valores de  $\Psi_{\text{mad}}$  semelhantes aos encontrados na estação chuvosa. Outros estudos realizados com palmeiras também encontraram um  $\Psi$  menos negativo no início da manhã durante a estação chuvosa indicando que maior disponibilidade de água no solo e menor déficit de pressão de vapor atmosférico refletem diretamente no status hídrico da planta (Passos *et al.*, 2005; 2009).

Em relação ao  $\Psi_{\text{med}}$ , os valores mais negativos foram encontrados na estação chuvosa (ANOVA:  $F_{1;12} = 110,54$ ;  $p < 0,001$ ), entre -2,83 e -2,96 MPa, quando comparados aos resultados da estação seca que apresentou valores médios entre -1,28 e 1,55 MPa. Contudo, de acordo com os resultados de outros trabalhos realizados com espécies típicas do cerrado e com outras espécies de palmeiras cultivadas, esperava-se encontrar valores de  $\Psi_{\text{med}}$  mais negativo na estação seca, quando a demanda evaporativa do ar é maior (Franco *et al.*, 2005; Monteiro & Prado, 2006; Nogueira *et al.*, 2000; Passos *et al.*, 2005; 2009).



**Figura 4.** Potencial hídrico foliar da madrugada (A) e do meio-dia (B) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).

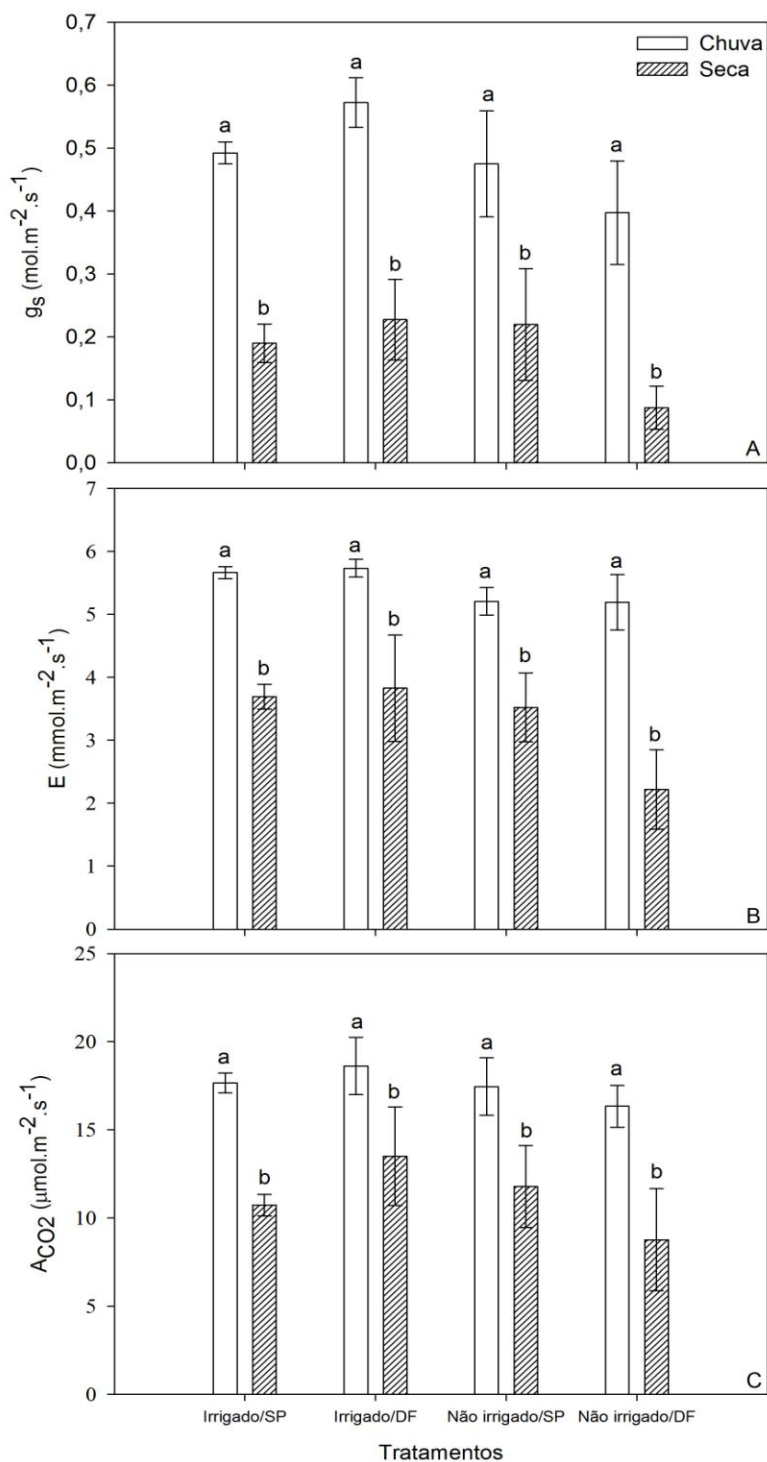
Os valores mais negativos de  $\Psi_{med}$  encontrados na estação chuvosa podem ser atribuídos aos valores mais altos de  $g_s$  (Figura 5A; ANOVA:  $F_{1;12} = 48,43$ ;  $p < 0,01$ ) e de E (Figura 5B; ANOVA:  $F_{1;12} = 62,20$ ;  $p < 0,05$ ) medidos na estação chuvosa e maior EIUA na estação seca (Figura 7B; ANOVA:  $F_{1;12} = 37,42$ ;  $p < 0,01$ ), sugerindo que ocorre maior abertura estomática

quando há mais água disponível e um forte controle estomático quando há maior demanda evaporativa da atmosfera e menos água disponível no solo.

Os resultados obtidos para  $g_s$  revelaram que não houve diferenças significativas entre parcelas irrigadas e não irrigadas (ANOVA:  $F_{1;9}=7,64$ ;  $p>0,05$ ). e entre as populações (ANOVA:  $F_{1;9} = 0,71$ ;  $p > 0,05$ ). No entanto, foi detectada uma diferença significativa entre as estações de chuvas e de seca (Figura 5A; ANOVA:  $F_{1;12} = 48,43$ ;  $p<0,01$ ) e uma interação, também significativa, entre tratamentos de irrigação e origem da população (ANOVA:  $F_{1;12} = 8,95$ ;  $p<0,05$ ). Os dados obtidos para E demonstraram que seus níveis mais altos foram alcançados na estação chuvosa (ANOVA:  $F_{1;12} = 62,20$ ;  $p<0,01$ ) e no tratamento irrigado (ANOVA:  $F_{1;9} = 8,33$ ;  $p<0,05$ ), sem haver diferenças significativas entre as populações (Figura 5B; ANOVA:  $F_{1;9} = 1,34$ ;  $p>0,05$ ). A diminuição dos valores de  $g_s$  e, conseqüentemente, de E na estação seca, período em que a baixa umidade relativa do ar resulta em uma alta demanda evaporativa da atmosfera (Figura 2A), indica que  $g_s$  é fortemente influenciado pelas condições de umidade relativa do ar (Passos *et al.*, 2005; Tucci *et al.*, 2010).

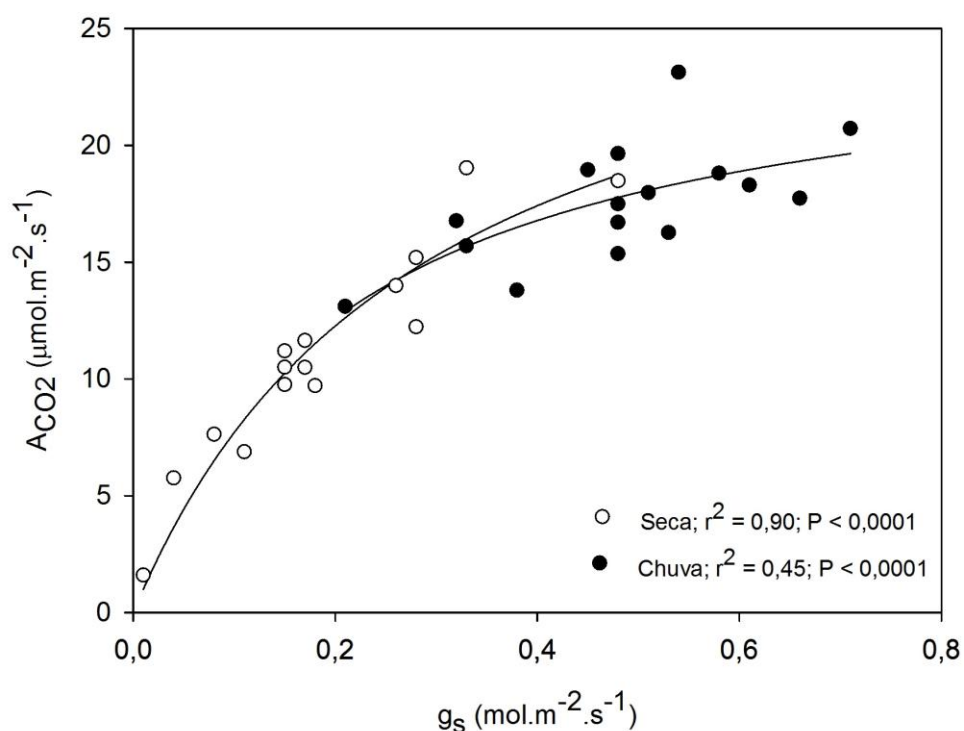
Dufrene & Saugier (1993), em estudo realizado com a palmeira *Elaeis guineensis* Jacq. (dendê) em diferentes estágios de desenvolvimento no oeste da África, concluíram que a  $g_s$  é mais sensível ao déficit de pressão de vapor atmosférico (DPV) do que a  $A_{CO_2}$  e a E, através da constatação de que quando o DPV aumentava de 1,0 para 1,8 kPa, a  $A_{CO_2}$  diminuía cerca de 10% e a E cerca de 30%, enquanto que a  $g_s$  reduzia cerca de 50%. A mesma tendência de diminuição de  $A_{CO_2}$  e  $g_s$  durante períodos de estresse hídrico também foram encontrados para outras espécies de palmeiras (Calbo & Moraes, 2000; Oliveira *et al.*, 2002; Passos *et al.*, 2005; 2009).





**Figura 5.** Trocas gasosas foliares sob saturação de luz: Condutância estomática (A); Transpiração foliar (B); Assimilação líquida máxima de CO<sub>2</sub> (C) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).

Os valores médios de  $A_{CO_2}$  entre os tratamentos variaram entre 16,3 e 18,6  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  na estação chuvosa e entre 8,8 e 13,5  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  na seca (Figura 5C), estas diferenças foram significativas apenas entre as estações (ANOVA:  $F_{1;12} = 19,77$ ;  $p < 0,001$ ). A interação entre irrigação e origem da população foi significativa (ANOVA:  $F_{1;12} = 6,53$ ;  $p < 0,05$ ). A redução dos valores de  $A_{CO_2}$  no período de escassez de chuvas foi fortemente correlacionada com a diminuição da  $g_s$  para esse mesmo período (Figura 6).



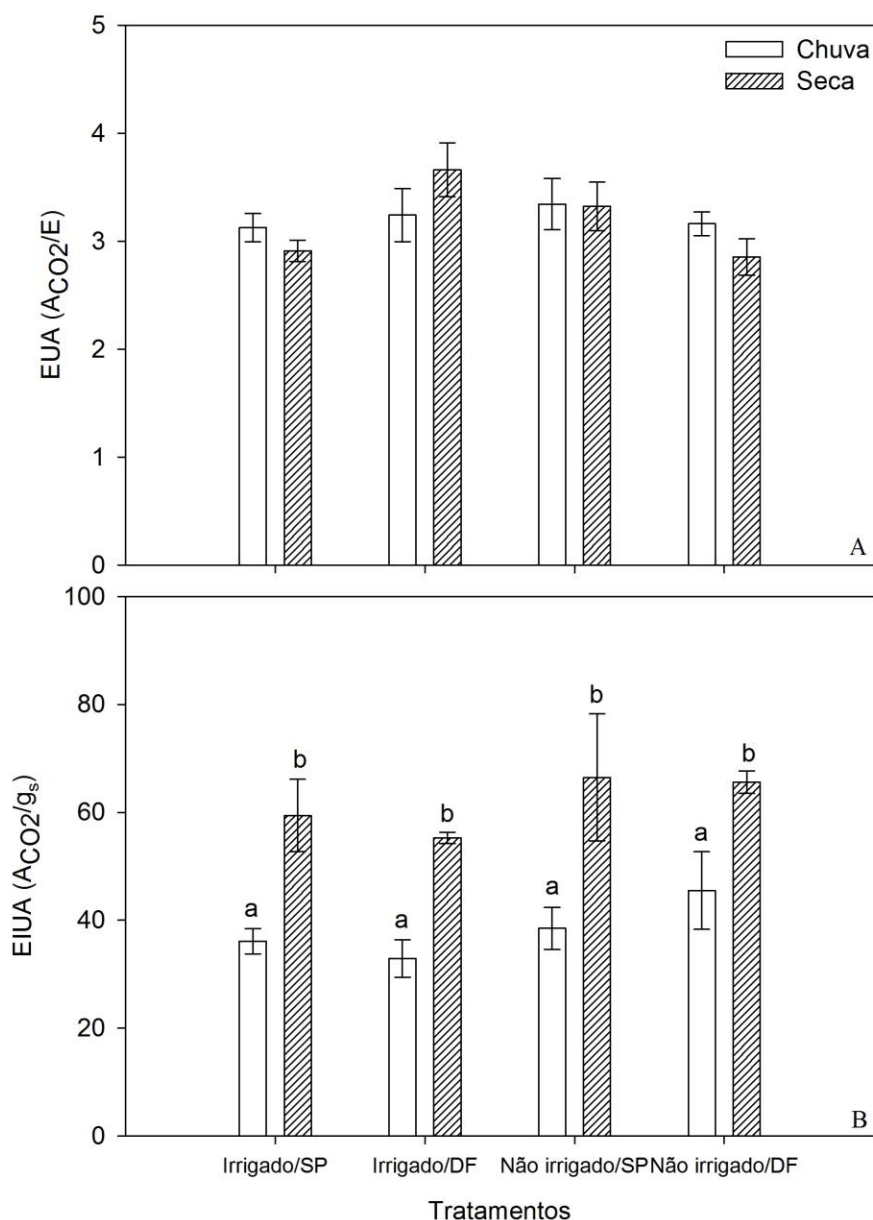
**Figura 6.** Relação entre a assimilação máxima de  $\text{CO}_2$  ( $A_{CO_2}$ ) e a condutância estomática ( $g_s$ ) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF) durante as estações seca e chuvosa. As linhas são as funções não lineares resultantes do ajuste dos valores obtidos para todos os tratamentos dentro de cada estação.

Os valores de  $A_{CO_2}$  encontrados foram semelhantes entre os tratamentos de irrigação (ANOVA:  $F_{1;9} = 4,03$ ;  $p > 0,05$ ) e entre as populações (ANOVA:  $F_{1;9} = 0,02$ ;  $p > 0,05$ ). Esperava-se encontrar maiores valores de  $A_{CO_2}$  nas parcelas irrigadas devido às melhores condições de hidratação do protoplasma em relação às não irrigadas (Larcher, 2004). Entretanto, isso não ocorreu provavelmente porque as medidas de  $A_{CO_2}$  foram tomadas nas primeiras horas da manhã (entre 8h e 10h), portanto antes que as plantas atingissem valores mínimos de  $\Psi$ . Além disso, as

interações significativas detectadas entre tratamento de irrigação e origem das populações para  $g_s$  e  $A_{CO_2}$  podem indicar diferenças nas respostas ao suprimento de água através da irrigação em decorrência da origem dos exemplares de *A. aculeata*.

Os resultados obtidos para a EUA não apresentaram diferenças significativas entre parcelas irrigadas e não irrigadas (ANOVA:  $F_{1,9} = 1,20$ ;  $p > 0,05$ ), entre as estações do ano (ANOVA:  $F_{1,12} = 0,004$ ;  $p > 0,05$ ; Figura 7A) e entre as origens das populações de *A. aculeata* (ANOVA:  $F_{1,9} = 0,20$ ;  $p > 0,05$ ), no entanto, houve uma interação significativa entre tratamento de irrigação e origem das populações (ANOVA:  $F_{1,8} = 27,00$ ;  $p > 0,01$ ). Resultados semelhantes, em relação ao suprimento de água, foram descritos em um estudo com exemplares de *Cocos nucifera* L., submetidos a diferentes níveis de irrigação, desenvolvido no NE do Brasil (Azevedo *et al.*, 2006), onde não foram detectadas diferenças na EUA entre os níveis de irrigação utilizados. No entanto, diferenças expressivas entre as estações do ano foram encontradas para a EIUA (ANOVA:  $F_{1,12} = 37,42$ ;  $p < 0,001$ ; Figura 7B), onde os maiores valores ocorreram durante o período de maior escassez de chuvas, resultados semelhantes também foram encontrados por Franco *et al.* (2005), em um estudo realizado com espécies arbóreas do cerrado sob as mesmas condições climáticas, e por Passos *et al.* (2005) em estudo realizado com exemplares de *C. nucifera* sob condições de déficit hídrico sazonal.

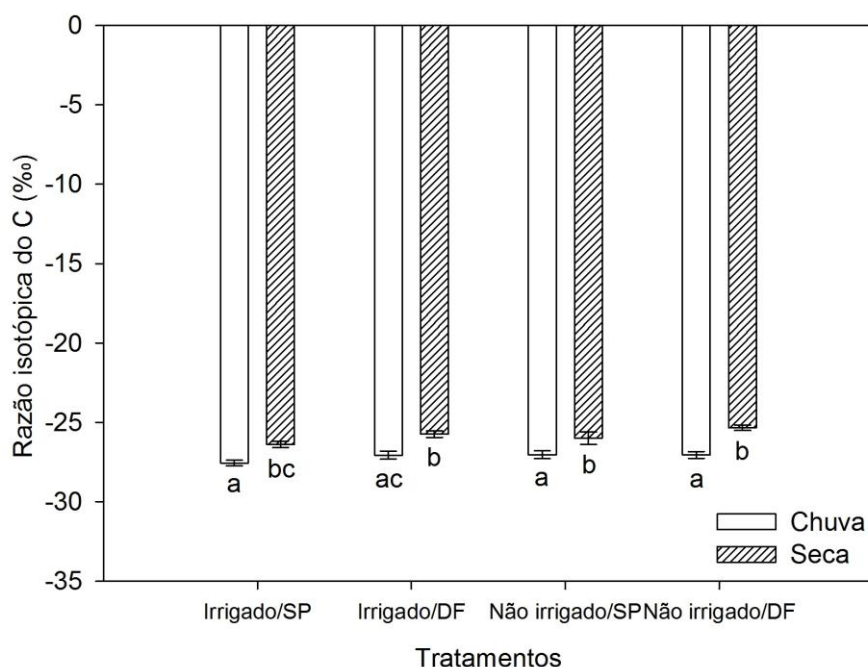
Estes resultados se devem, possivelmente, ao fato de que as diferenças dos valores de  $g_s$  entre as estações são proporcionalmente maiores do que as diferenças dos valores de E entre as estações, concordando com a hipótese anteriormente citada de que a  $g_s$  é mais sensível à demanda evaporativa da atmosférica durante a estação seca do que a E em espécies de palmeiras (Dufrene & Saugier, 1993; Passos *et al.*, 2005).



**Figura 7.** Eficiência do uso da água (A); Eficiência intrínseca do uso da água (B) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).

As respostas fisiológicas da planta à seca sazonal tornam-se mais evidentes através da análise das variações sazonais de  $\delta^{13}\text{C}$  que revelam a eficiência intrínseca do uso da água integrada ao longo da vida da folha (Farquhar *et al.*, 1989). Em *A. aculeata*, os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  das folhas produzidas no período de seca foram maiores em relação aos valores das folhas

produzidas no período de chuvas (ANOVA:  $F_{1,12} = 294,34$ ;  $p < 0,001$ ; Figura 8), indicando um maior decréscimo na condutância estomática em relação à assimilação de  $\text{CO}_2$ , corroborando os resultados obtidos através das medidas instantâneas de EIUA em condições de saturação de luz (Figura 7B). Este aumento dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  é encontrado em diversas espécies em decorrência da redução sazonal na disponibilidade hídrica (Colleta *et al.*, 2009).



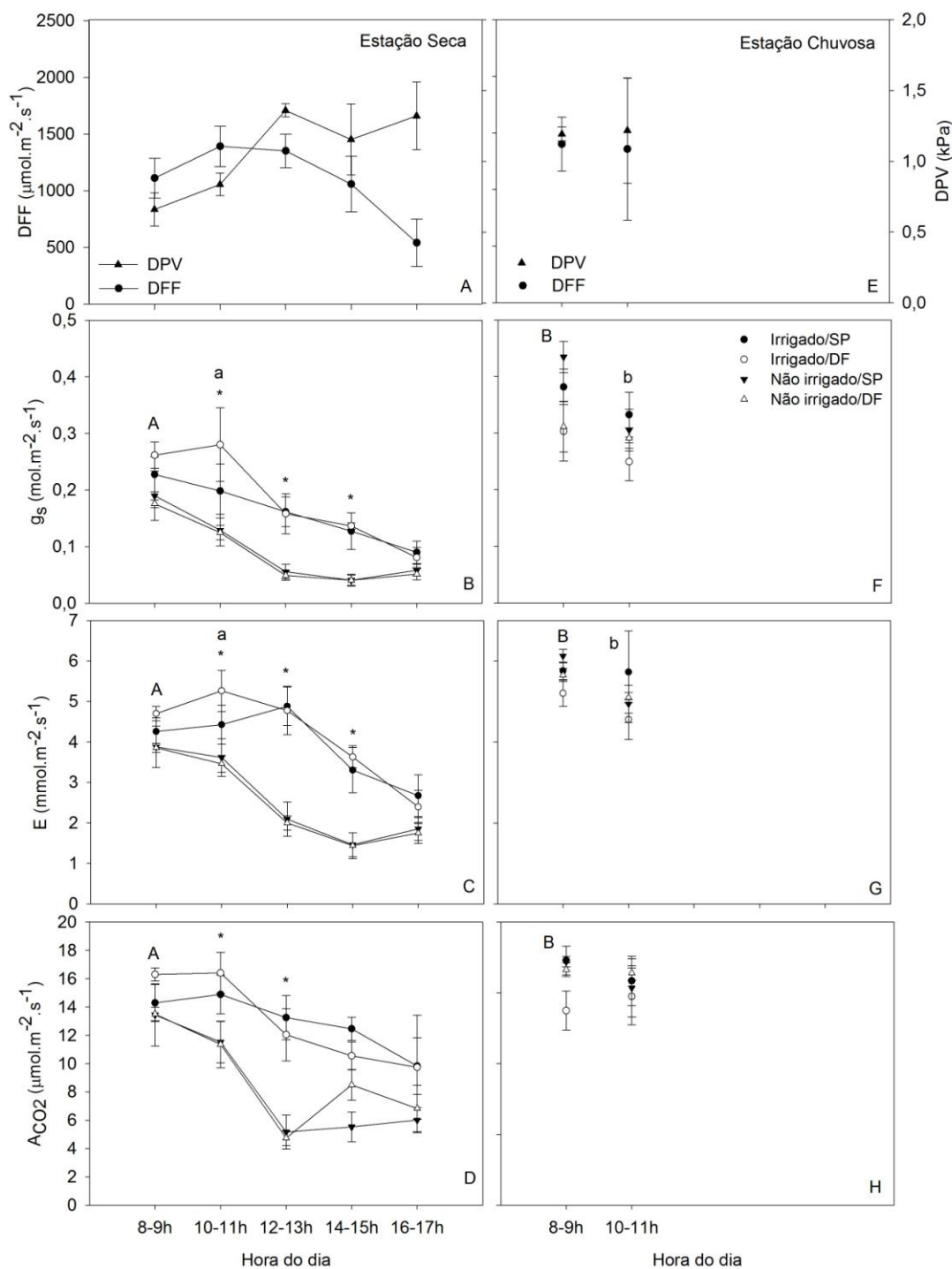
**Figura 8.** Razão isotópica do C ( $\delta^{13}\text{C}$ ) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF) durante as estações seca e chuvosa. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo Teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).

As curvas diárias, realizadas nas estações seca e chuvosa, demonstraram que a abertura máxima dos estômatos ocorreu entre 8:00h e 9:00h quando a  $g_s$ , a  $A_{\text{CO}_2}$  e a  $E$  atingiram seus valores máximos (Figura 9). Na estação seca foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre parcelas irrigadas e não irrigadas nas medidas realizadas nos horários de 10:00h, 12:00h, período de maior incidência solar (Figura 9A), e 14:00h, quando a diminuição de  $GS$  tornou-se mais evidente (Figura 9B) devido ao aumento acentuado do DPV (Figura 9A) (ANOVA's encontram-se no ANEXO II). Na estação chuvosa, também foi possível perceber uma redução da  $GS$  entre 8:00h e 10:00h, entretanto não houve diferenças significativas entre os tratamentos de irrigação (ANOVA's encontram-se no ANEXO II).

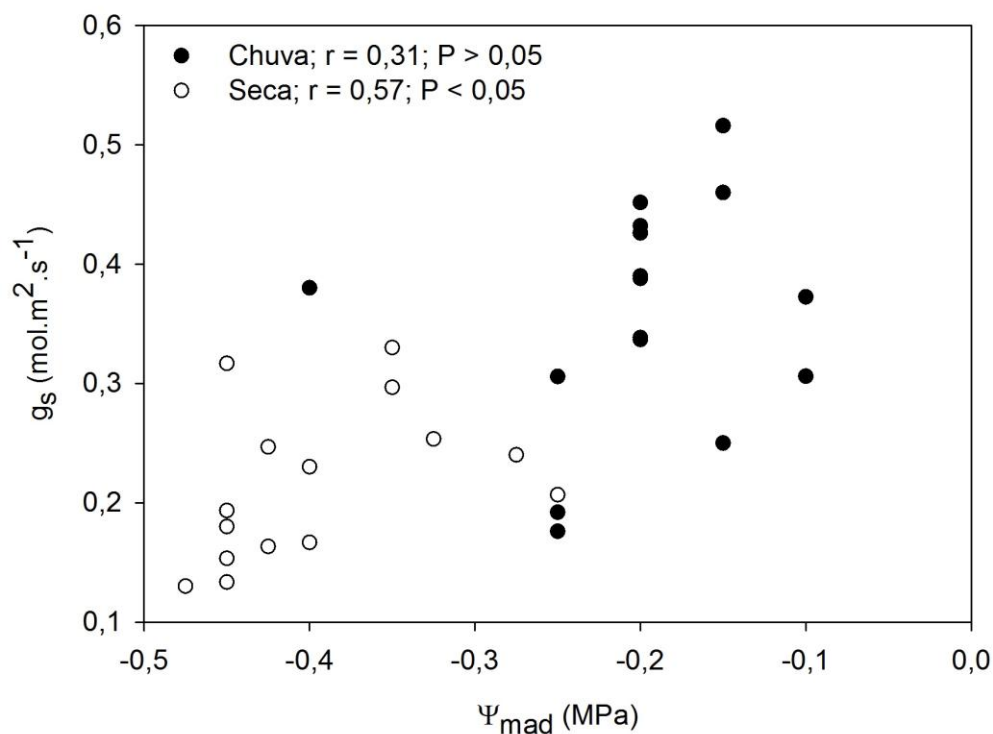
Na estação seca, os valores dos parâmetros analisados mostraram-se semelhantes em todos os tratamentos no início da manhã (8:00h), possivelmente porque a perda de água através da transpiração foliar ainda não afetava claramente os processos fisiológicos da planta. No final da tarde (16:00h) não houve diferenças entre os tratamentos para todos os parâmetros estudados devido ao aumento nos valores de  $g_s$ ,  $A_{CO_2}$  e  $E$  das parcelas não irrigadas. Os resultados obtidos para as duas populações estudadas, em todos os períodos do dia avaliados, não diferiram entre si em ambas as estações (ANOVA's encontram-se no ANEXO II).

O fechamento gradual da abertura estomática ao longo do dia causou um decréscimo da  $g_s$ , e conseqüentemente, da  $A_{CO_2}$  e da  $E$ , visivelmente mais acentuado nas parcelas não irrigadas, devido à elevação do déficit de pressão de vapor no decorrer do dia. Outros estudos mostraram resultados semelhantes em que o aumento da irradiação solar e da demanda evaporativa da atmosfera provocam uma depressão do meio-dia prolongada influenciando fortemente o ganho de carbono pela planta (Franco, 1998; Meinzer *et al.*, 1999; Franco *et al.*, 2007; Lüttge *et al.*, 2007; Tucci *et al.*, 2010).

Os padrões de trocas gasosas, analisados dentro de cada estação, podem ser explicados pelo aumento do DPV (Figuras 9A e 9E) no decorrer do dia. No entanto, quando a comparação é feita entre as estações, é possível perceber valores mais altos do DPV na estação chuvosa, possivelmente devido às temperaturas mais elevadas e, portanto não explica os maiores valores de  $g_s$ ,  $A_{CO_2}$  e  $E$  ( $p < 0,05$ ) encontrados para a mesma estação (medidas realizadas no período da manhã). Neste caso, os valores mais baixos de  $g_s$  encontrados na estação seca se devem, principalmente, aos valores mais negativos do  $\Psi_{mad}$ . Esse resultado indica que a menor recarga de água pela planta durante a madrugada, em decorrência da menor disponibilidade de água no solo, influencia a abertura estomática mesmo antes dos valores mínimos do  $\Psi_{med}$  serem alcançados. A influência do  $\Psi_{mad}$  sobre a  $g_s$  é evidenciada pela correlação entre esses valores que foi significativa na estação seca, quando o controle estomático é maior (Figura 10).



**Figura 9.** Curvas diárias realizadas nas estações seca e chuvosa. A e E - Densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFF) e déficit de pressão de vapor de água atmosférico (DPV); B e F - Condutância estomática ( $g_s$ ); C e G - Transpiração foliar (E); D e H - Assimilação de  $\text{CO}_2$  ( $A_{CO_2}$ ). Os \* indicam diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos irrigado e não irrigado, comparados dentro do mesmo horário de coleta e mesma estação. As letras indicam diferenças significativas entre as estações, comparando-se o mesmo horário de coleta (ANOVA encontra-se no ANEXO II. As barras representam o erro padrão (n=4).



**Figura 10.** Correlação entre condutância estomática ( $g_s$ ) e potencial hídrico da madrugada ( $\Psi_{mad}$ ) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF) durante as estações seca e chuvosa.

As curvas de resposta à luz (Figura 11) revelaram uma influência marcante da estação sobre os valores de assimilação máxima de  $CO_2$  ajustados pela equação da hipérbole não retangular ( $A_{max}$ ; ANOVA:  $F_{1,12} = 369,77$ ;  $p < 0,001$ ) e sobre os valores reais assimilação máxima de  $CO_2$  coletados no campo ( $A_{maxreal}$ ; ANOVA:  $F_{1,12} = 16,00$ ;  $p < 0,01$ ) que foram maiores na estação chuvosa. No entanto, não foram encontradas diferenças significativas para esses parâmetros quando se comparou os tratamentos de irrigação e as origens das populações (ANOVA's encontram-se no ANEXO III).

Os fatores estação, origem das populações e irrigação não influenciaram significativamente a respiração mitocondrial (valores ajustados pela hipérbole não retangular;  $R_d$ ), os valores reais de respiração mitocondrial ( $R_{dreal}$ ), o rendimento quântico ( $\alpha$ ) e a convexidade da curva ( $\xi$ ), sendo estes últimos importantes para avaliar a produtividade fotossintética (Ögren, 1993; ANOVA's encontram-se no ANEXO III).

As diferenças encontradas para  $A_{max}$  e  $A_{maxreal}$  entre as estações refletem as diferenças nos valores de saturação de luz do aparato fotossintético entre períodos de maior disponibilidade de água e de estiagem e indicam que a regeneração da ribulose-1,5-bisfosfato (RuBP) ocorreu em

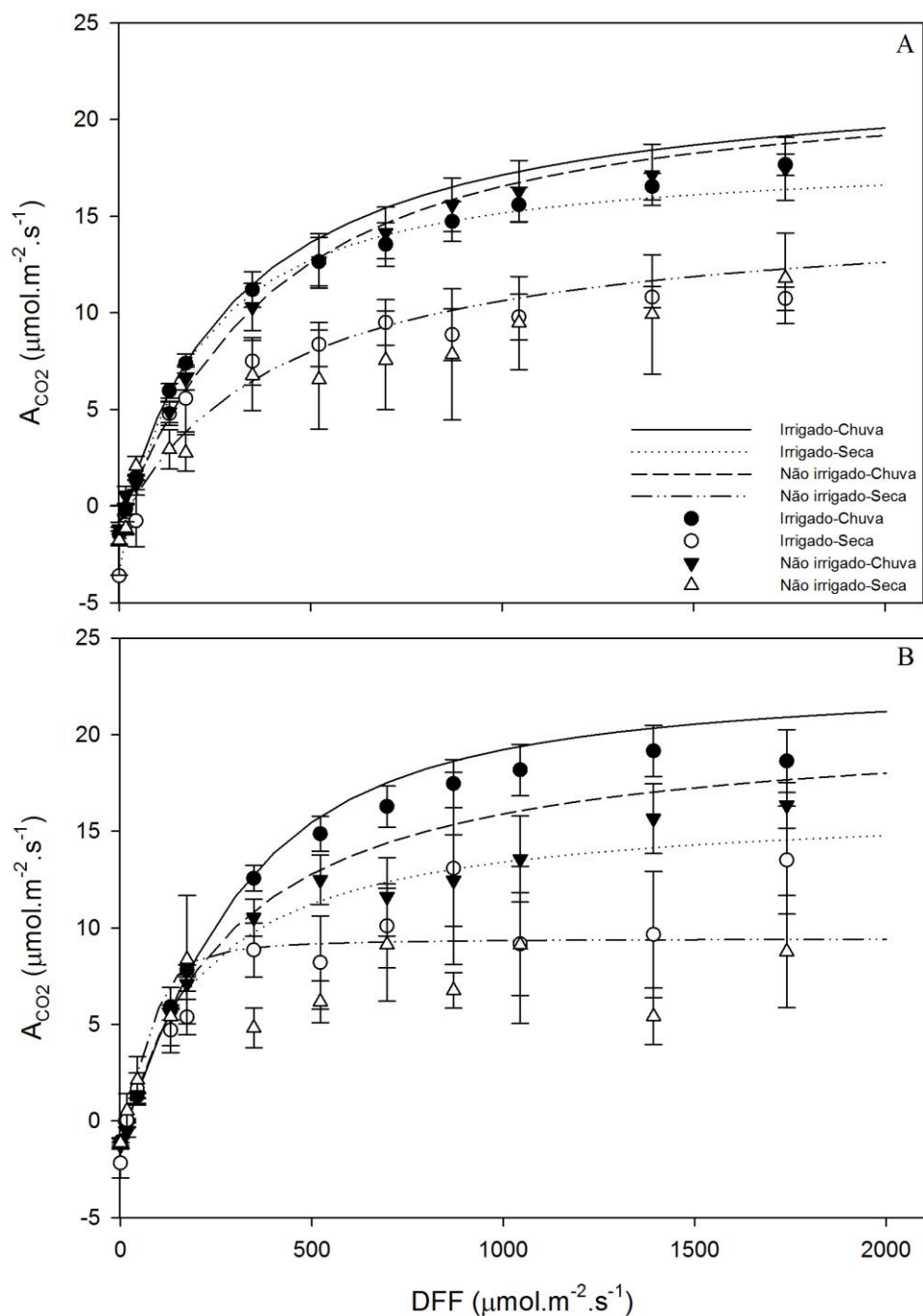


diferentes densidades de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos nas estações seca e chuvosa (Ögren, 1993; Scalona, 1999). Observa-se que os indivíduos mantidos sob irrigação durante a estação seca não alcançaram valores de  $A_{\max}$ ,  $A_{\max\text{real}}$ ,  $R_d$  e  $R_{d\text{real}}$  próximos ao da estação chuvosa, sendo mais um indicativo de que os efeitos do déficit hídrico não foram removidos pelo tratamento de irrigação.

A redução dos valores de  $A_{\max}$  obtidos no período de escassez de chuvas concorda com o exposto por Takahashi (2010). No entanto, ele observou uma diminuição de  $R_d$  e de  $\alpha$  e um aumento de  $\xi$ , indicando que o funcionamento fotossintético de algumas espécies nativas do cerrado pode ser mais sensível a sazonalidade climática quando comparado à *A. aculeata*. Padrão semelhante foi descrito por Gomes *et al.* (2008) em um estudo realizado com variedades de *C. nucifera* onde houve uma redução significativa de  $A_{\max}$ ,  $R_d$  e  $\alpha$  sob condições de déficit hídrico.

**Tabela 1.** Parâmetros ecofisiológicos estimados a partir de curvas de resposta à luz e ajustados pela equação da hipérbole não retangular (Ögren, 1993) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF) durante as estações seca e chuvosa. Valores que diferem estatisticamente entre si estão marcados com asteriscos. O erro padrão encontra-se entre parênteses.

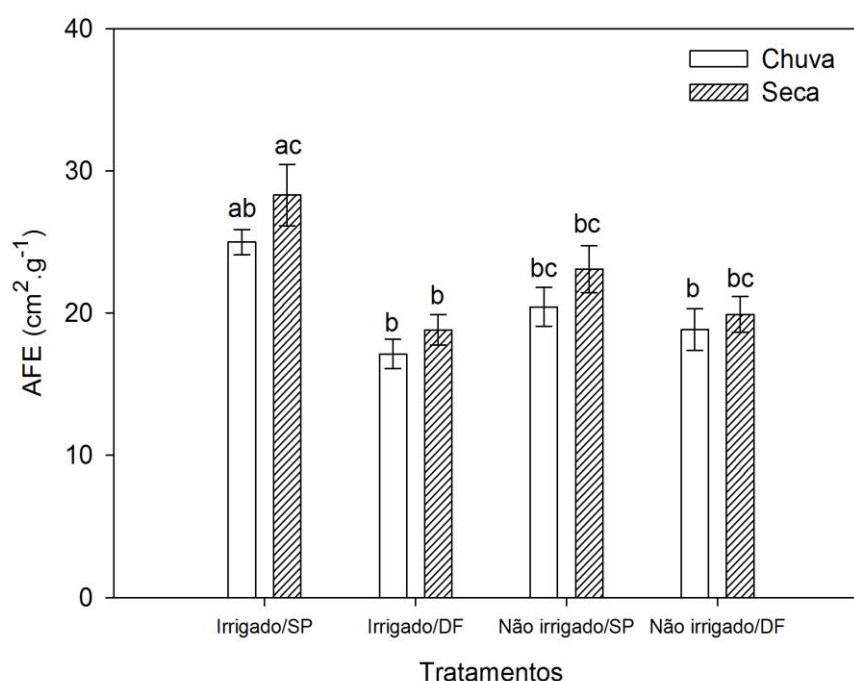
Estações	Tratamentos	Rd (EP)	Rdreal (EP)	Amax (EP)	Amaxreal (EP)	$\alpha$ (EP)	$\xi$ (EP)
Chuva	Irigado/SP	-1,21(±0,48)	-1,45(±0,61)	22,29(±1,78)	17,66(±0,56)	0,07(±0,01)	0,22(±0,21)
	Irigado/DF	-1,14(±0,13)	-1,06(±0,19)	23,20(±1,97)	18,62(±1,63)	0,07(±0,00)	0,61(±0,08)
	Não irrigado/SP	-0,78(±0,25)	-1,20(±0,10)	21,38(±2,16)	17,48(±1,63)	0,05(±0,01)	0,64(±0,05)
	Não irrigado/DF	-1,50(±0,24)	-1,27(±0,17)	19,93(±1,97)	16,34(±1,18)	0,08(±0,01)	0,25(±0,14)
		<b>-1,16(±0,15)</b>	<b>-1,25(±0,08)</b>	<b>21,70(±0,70)*</b>	<b>17,52(±0,47)*</b>	<b>0,06(±0,01)</b>	<b>0,42(±0,11)</b>
Seca	Irigado/SP	-3,08(±0,92)	-3,61(±1,65)	17,86(±3,12)	10,74(±0,61)	0,08(±0,01)	0,54(±0,22)
	Irigado/DF	-1,83(±0,92)	-2,18(±0,76)	15,59(±1,28)	13,50(±2,79)	0,11(±0,06)	0,80(±0,15)
	Não irrigado/SP	-2,16(±0,94)	-2,50(±1,48)	18,60(±3,06)	13,17(±2,31)	0,07(±0,03)	0,30(±0,25)
	Não irrigado/DF	-1,42(±0,65)	-0,88(±0,27)	15,86(±1,04)	8,77(±2,90)	0,07(±0,02)	0,76(±0,13)
		<b>-2,12(±0,35)</b>	<b>-2,29(±0,56)</b>	<b>16,98(±0,74)*</b>	<b>11,54(±1,11)*</b>	<b>0,08(±0,01)</b>	<b>0,60(±0,12)</b>



**Figura 11.** Curvas de resposta à luz para indivíduos de *Acrocomia aculeata* irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (A) e do Distrito Federal (B) durante as estações seca e chuvosa. Os símbolos representam os valores máximos reais de  $A_{CO_2}$  para diferentes DFF e as linhas representam os mesmos valores ajustados pela equação da hipérbole não retangular. As barras representam o erro padrão (n=4).

### 3.2. Área foliar específica e produção de folhas

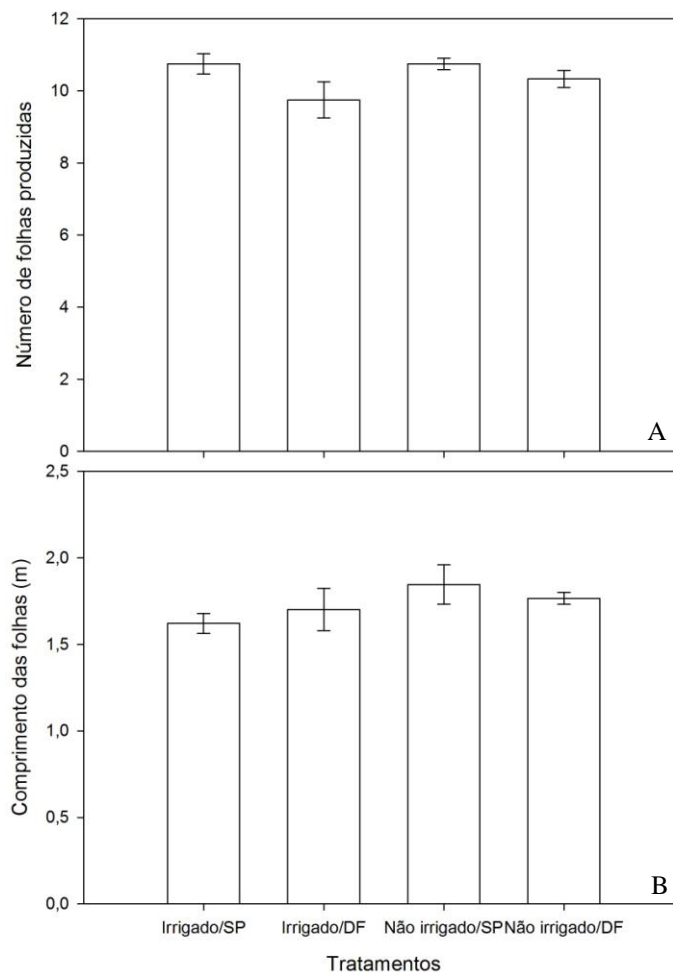
A análise de variância dos dados de área foliar específica (AFE) revelou que os fatores estação (ANOVA:  $F_{1,12} = 4,92$ ;  $p < 0,05$ ) e origem das populações (ANOVA:  $F_{1,9} = 11,63$ ;  $p < 0,01$ ) influenciaram os resultados obtidos, no entanto, não foram encontradas diferenças significativas entre as parcelas irrigadas e não irrigadas (ANOVA:  $F_{1,9} = 0,99$ ;  $p > 0,05$ ). Segundo o teste HSD de Tukey, os mesmos resultados não diferiram significativamente entre si para todos os tratamentos e estações do ano, com exceção das parcelas irrigadas originárias de SP e irrigadas oriundas do DF que apresentaram valores significativamente diferentes somente na estação seca (Figura 12). Diversos trabalhos descrevem que a AFE é maior na época chuvosa, quando a disponibilidade de água e nutrientes aumenta e, assim, a planta pode aumentar seu investimento em tecidos fotossintetizantes (Wright *et al.*, 2001; Prior *et al.*, 2004; Franco *et al.*, 2005). Contudo, estes estudos não controlaram a idade da folha e os resultados obtidos podem estar relacionados aos processos de senescência foliar (Franco *et al.*, 2005; Araújo e Haridasan, 2007).



**Figura 12.** Área foliar específica para indivíduos de *Acrocomia aculeata* irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).

Fatores ambientais como a disponibilidade de água, a intensidade de luz e as altas temperaturas atmosféricas podem influenciar a produção de folhas em palmeiras (De Steven *et al.*, 1987; Sampaio & Scariot, 2008; Tucci *et al.*, 2010). A produção média de folhas no período que compreende os meses de setembro de 2009 a outubro de 2010 foi estimada em 0,7 a 0,8 folhas produzidas por mês (Figura 13A), não havendo diferenças estatisticamente significativas entre as parcelas irrigadas e não irrigadas (ANOVA:  $F_{1,9} = 0,85$ ;  $p > 0,05$ ) e entre a origem das populações (ANOVA:  $F_{1,9} = 5,07$ ;  $p > 0,05$ ).

A produtividade de folhas estimada para *A. aculeata* (8,4 a 9,6 folhas/ ano), foi maior do que a estimada por De Carvalho *et al.* (1999) para *Euterpe edulis* Mart., cerca de 2, 21 folhas/ano e por De Steven *et al.* (1987) para espécies como *Socrotea durissima* (Oerst.) Wendl.(dossel e subdossel) e *Astrocaryum standleyanum* L. H. Bailey (subdossel), cerca de 2,7 e 3,8 folhas/ ano respectivamente. No entanto, neste último trabalho também foram encontrados valores semelhantes aos da *A. aculeata* para *Cryosophila warsewiczii* (subdossel), entre 11 e 13 folhas/ano. Medidas do comprimento das folhas foram tomadas, pois poderia não haver diferenças no número de folhas produzidas, mas haver diferenças no comprimento das mesmas (Figura 13B). Os comprimentos médios encontrados foram entre 1,6 e 1,8m, tais diferenças não foram significativas entre os tratamentos. Contudo, até o momento os exemplares de *A. aculeata* ainda não alcançaram a maturidade sexual e, portanto, não é conhecido se a sazonalidade no regime de chuvas afeta sua produção de frutos, como em *C. nucifera* onde a produtividade de frutos é dependente do suprimento de água (Carr, 2010).



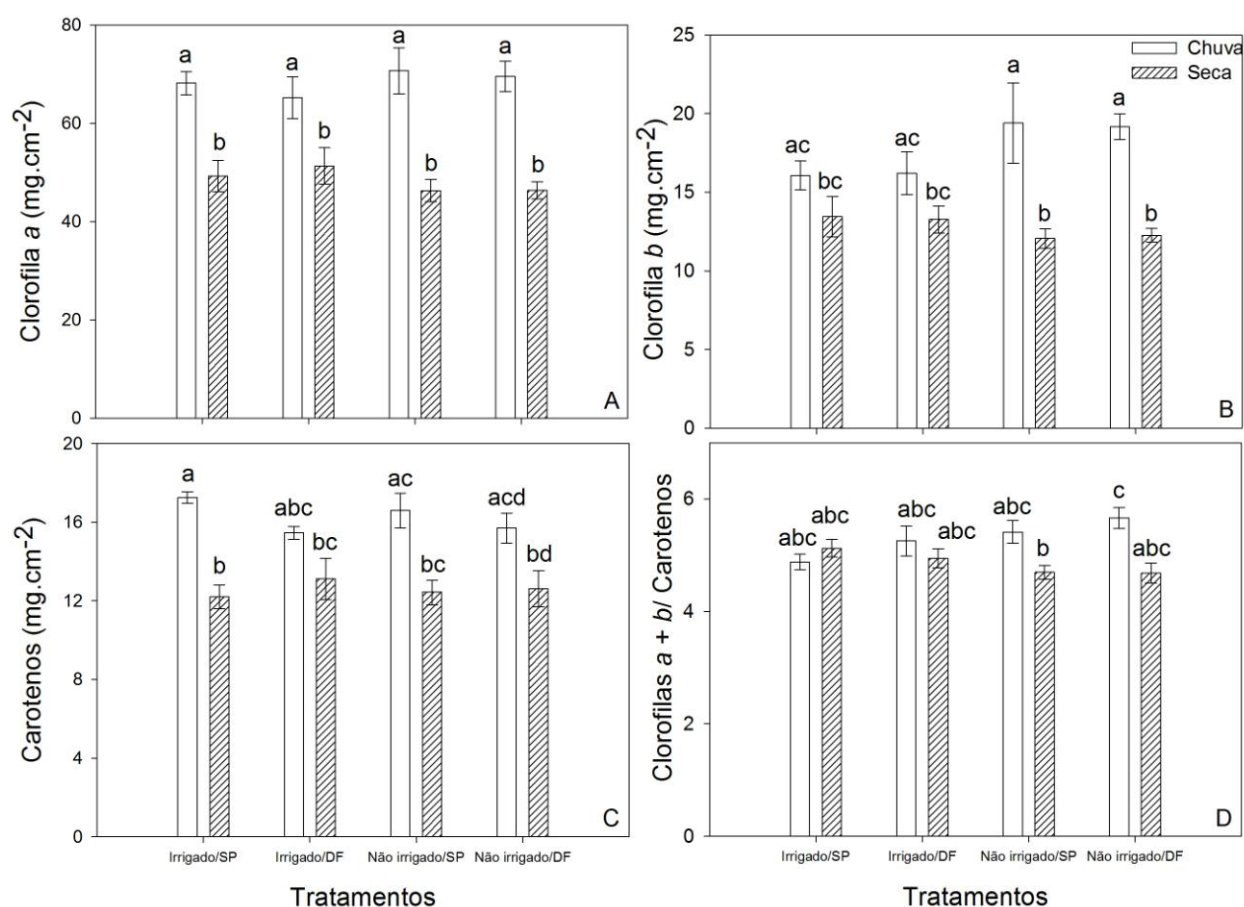
**Figura 13.** Número de folhas produzidas de setembro de 2009 a outubro de 2010 (A); Comprimento das folhas (B) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Não foram encontradas diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).

### 3.3. Pigmentos fotossintéticos

A análise do conteúdo dos pigmentos fotossintéticos mostrou uma variação sazonal significativa (Figura 14). Teores mais altos de clorofila *a* (ANOVA:  $F_{1,9} = 072,12$ ;  $p < 0,01$ ), clorofila *b* (ANOVA:  $F_{1,9} = 35,58$ ;  $p < 0,01$ ) e de carotenos (ANOVA:  $F_{1,9} = 51,58$ ;  $p < 0,01$ ) foram encontrados na estação chuvosa. A razão entre clorofilas totais e carotenos também foi maior na estação chuvosa (ANOVA:  $F_{1,9} = 13,79$ ;  $p < 0,01$ ), indicando que houve um aumento do conteúdo de carotenos em relação às clorofilas na estação seca. Não foram encontradas diferenças

significativas entre parcelas irrigadas e não irrigadas e entre as populações (ANOVA's encontram-se no ANEXO IV).

Os teores mais elevados de pigmentos fotossintetizantes são coerentes com o aumento da assimilação de CO<sub>2</sub> e as maiores concentrações de nutrientes foliares relacionados com os processos fotossintéticos encontrados na estação chuvosa, principalmente o nitrogênio (Figura 15A). Outros estudos mostraram que períodos prolongados de déficit hídrico podem causar decréscimos nos teores de clorofilas *a* e *b* e de carotenos e diminuir a razão entre clorofilas e carotenos (Carvalho *et al.*, 2007; Pompelli *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2011).

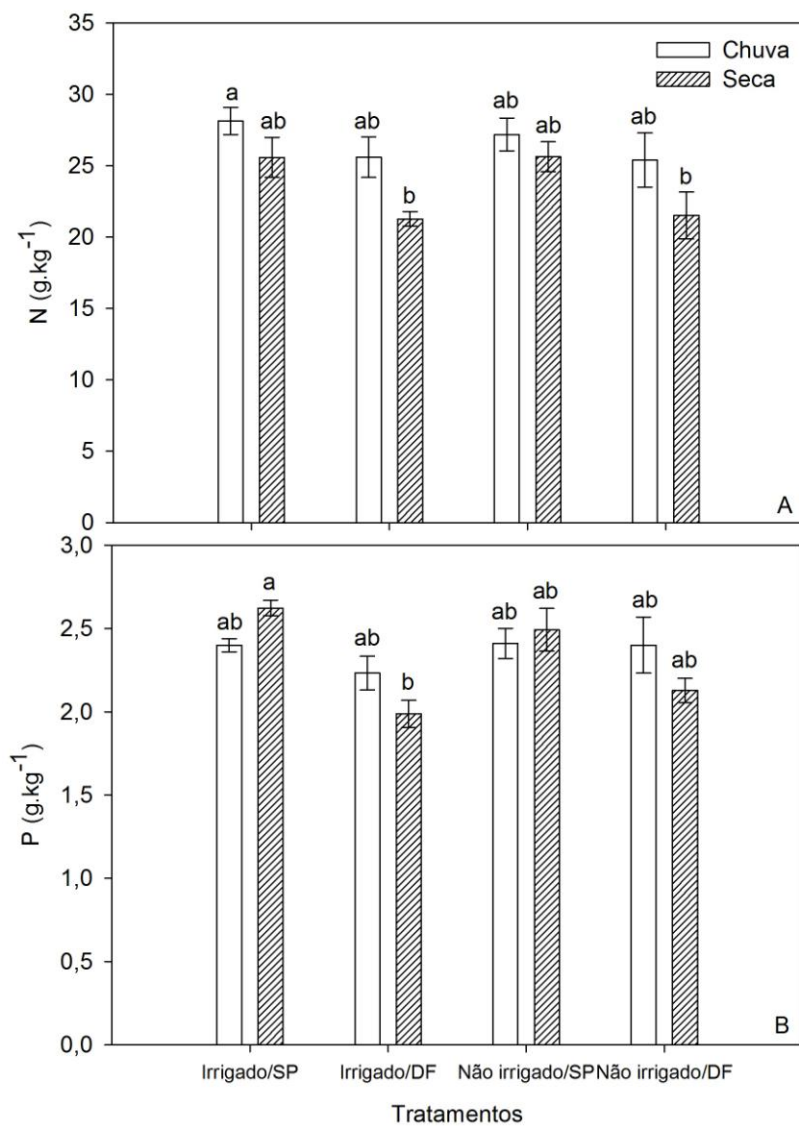


**Figura 14.** Concentração foliar de pigmentos clorofila *a* (A), clorofila *b* (B), carotenos (C) e razão entre clorofilas *a+b* e carotenos (D) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).

### 3.4. Macro e micronutrientes

Segundo a análise de variância, as concentrações foliares de N diferiram significativamente entre as estações seca e chuvosa (ANOVA:  $F_{1,12} = 16,00$ ;  $p < 0,01$ ) e entre as populações provenientes de São Paulo e do Distrito Federal (ANOVA:  $F_{1,9} = 8,22$ ;  $p < 0,05$ ), porém, não foram encontradas diferenças significativas entre parcelas irrigadas e não irrigadas (ANOVA:  $F_{1,9} = 0,04$ ;  $p > 0,05$ ). Já a análise utilizando-se o teste HSD de Tukey revelou não ter ocorrido influência significativa dos fatores estação, irrigação e origem das populações sobre as concentrações foliares de N, com exceção do tratamento irrigado/SP na estação chuvosa que apresentou valores superiores aos dos tratamentos não irrigado/SP e não irrigado/DF na estação seca (Figura 15A). Era esperado que o suprimento de água através da irrigação ou das chuvas elevasse os teores de N nas folhas produzidas na estação chuvosa e nas parcelas irrigadas, como encontrado em outros trabalhos (Araújo & Haridasan, 2007; Carvalho *et al.*, 2007).

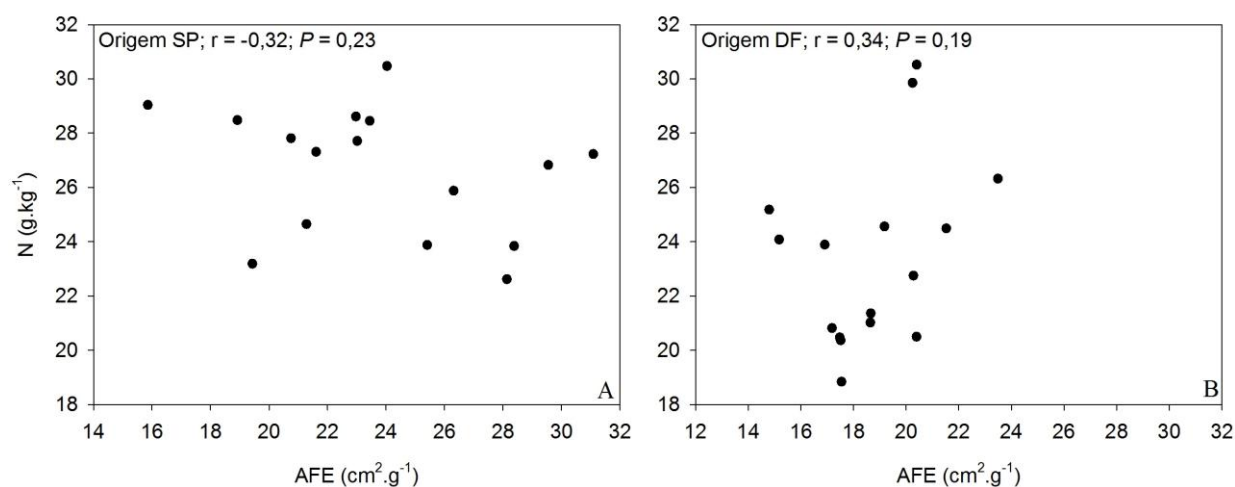
A análise dos teores foliares de P revelou diferenças significativas apenas entre as populações (ANOVA:  $F_{1,9} = 10,99$ ;  $p < 0,01$ ) e uma interação significativa entre estação e origem (ANOVA:  $F_{1,9} =$  ;  $p < 0,01$ ) não havendo diferenças entre as estações (ANOVA:  $F_{1,9} = 0,80$ ;  $p > 0,05$ ) e entre os tratamentos de irrigação (ANOVA:  $F_{1,9} = 0,28$ ;  $p > 0,05$ ; Figura 15B). No entanto, esperava-se que as análises de P demonstrassem maior assimilação deste na estação das chuvas, como encontrado em outros trabalhos (Araújo & Haridasan, 2007; Carvalho *et al.*, 2007). As diferentes concentrações de P encontradas entre as populações estudadas concordam com Prior *et al.* (2004), quando investigou o efeito da sazonalidade das chuvas nas concentrações foliares de P em espécies arbóreas da savana australiana, que concluiu que o efeito da disponibilidade de P nas concentrações foliares variava em função da espécie em questão.



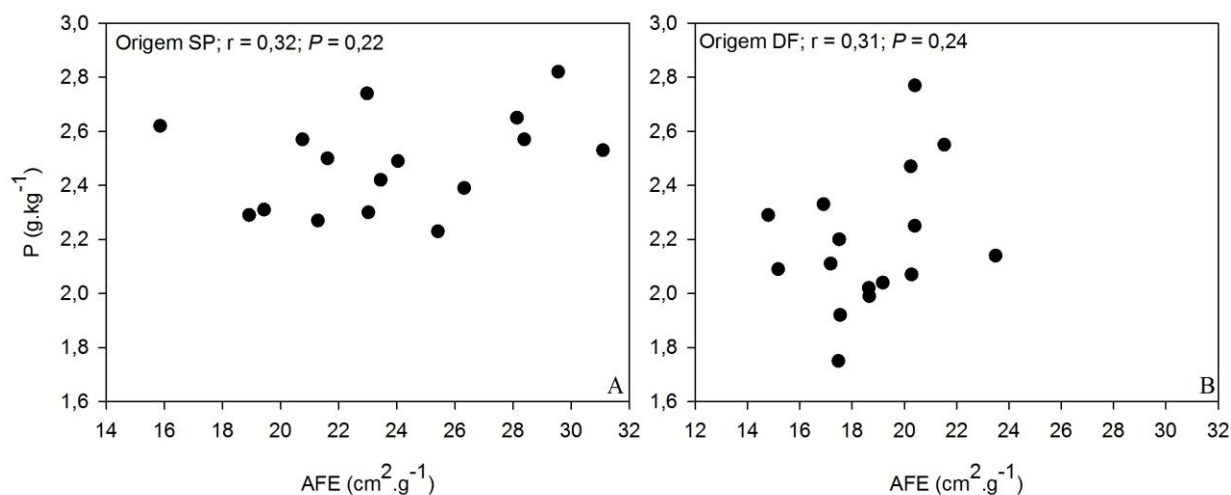
**Figura 15.** Concentrações foliares dos macronutrientes nitrogênio (A) e fósforo (B) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).

Em relação à origem das populações, podemos observar uma tendência à elevação das concentrações foliares de N e P e dos valores de AFE nos exemplares provenientes da região de São Paulo. De modo geral, em plantas com diferentes teores de nutrientes foliares ou sob quantidades de chuva variadas, a AFE é positivamente correlacionada com N e P (Eamus *et al.*, 1999; Wright *et al.*, 2001), mas neste caso não foram obtidas correlações significativas entre N e AFE (Figura 16A e B) e entre P e AFE (Figura 17A e B) para os dados das populações avaliadas.





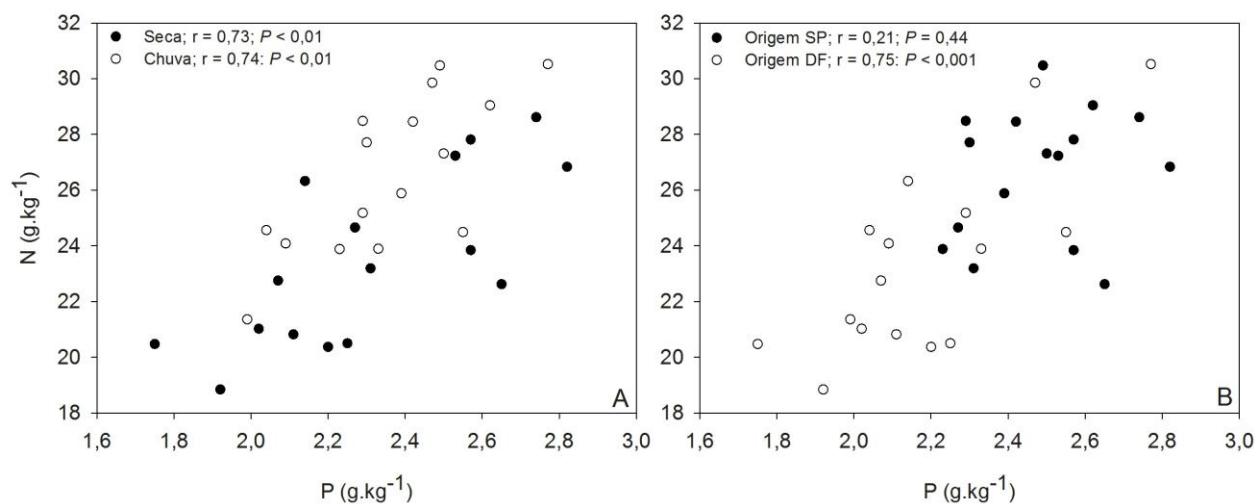
**Figura 16.** Correlação entre concentração de nitrogênio foliar (N) e área foliar específica (AFE) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF) durante as estações seca e chuvosa.



**Figura 17.** Correlação entre concentração de fósforo foliar (P) e área foliar específica (AFE) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF) durante as estações seca e chuvosa

As correlações entre N e P foram, em grau semelhante, positivas e significativas tanto no período chuvoso quanto no período seco (Figura 18A), resultados semelhantes para essa correlação foram encontrados por Prior *et al.*, 2004. Uma correlação significativa para os resultados da população do DF também foi encontrada, entretanto a mesma análise não foi significativa para a população de SP (Figura 18B). Diversos autores apresentaram correlações

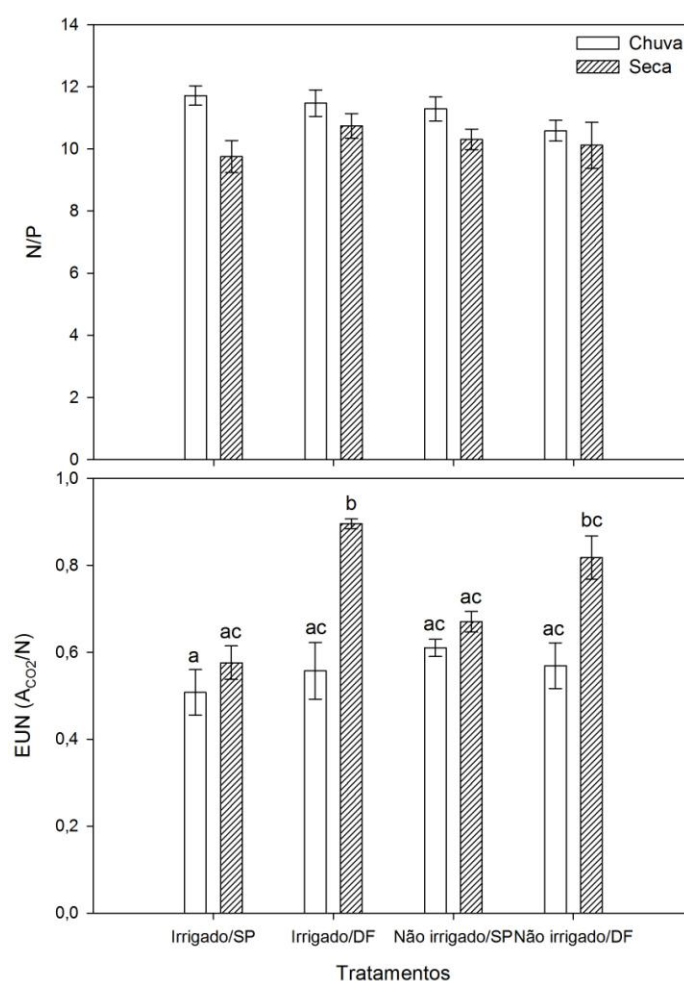
positivas e significativas entre N e P em seus trabalhos o que reflete o sinergismo entre esse dois elementos no metabolismo das plantas (Wright *et al.*, 2001; Franco *et al.*, 2005; Araújo & Haridasan, 2007).



**Figura 18.** Correlação entre concentrações foliares de nitrogênio (N) e fósforo (P) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF) durante as estações seca e chuvosa.

As razões entre N e P demonstraram que houve uma diferença significativa apenas entre as estações (ANOVA:  $F_{1,12} = 25,19$ ;  $p < 0,01$ ), sendo estas maiores na estação chuvosa devido à influência da disponibilidade hídrica na absorção dos nutrientes (Figura 19A). Os valores médios encontrados foram de 11,27 (Erro padrão da média = 0,39) no período de chuvas e de 10,23 (Erro padrão da média = 0,50) no período de seca. Segundo Aerts & Chapin (2000), valores inferiores a 14 para esta razão indicam limitações nutricionais por N, no entanto todas as parcelas deste experimento foram adubadas, conforme descrito anteriormente, e não apresentaram sintomas foliares de deficiência para esse elemento em nenhum momento durante a execução deste experimento. Além disso, para *A. aculeata* foram encontradas concentrações médias de N foliar entre 25,4 e 28,1 g.kg<sup>-1</sup>, na estação chuvosa, e entre 21,3 e 25,6 g.kg<sup>-1</sup>, na estação seca. Tais concentrações foram superiores às encontradas em outros trabalhos realizados com palmeiras, como em *C. nucifera*, que variaram entre 17,0 e 20,5 g.kg<sup>-1</sup> (Teixeira *et al.*, 2005) ou em *Rhapis excelsa* (Thunberg) Henry ex. Rehder, onde a variação foi de 17,8 a 18,3 g.kg<sup>-1</sup> (Alves *et al.*, 2010).

A EUN pode ser utilizada para compreender as respostas da planta a diferentes níveis de disponibilidade de N no solo. As análises estatísticas para a EUN demonstraram que houve diferenças significativas entre as estações (ANOVA:  $F_{1,12} = 25,19$ ;  $p < 0,001$ ) e entre as populações (ANOVA:  $F_{1,9} = 12,12$ ;  $p < 0,05$ ), entretanto, as parcelas irrigadas e não irrigadas não diferiram entre si (ANOVA:  $F_{1,9} = 1,23$ ;  $p > 0,05$ ). A interação entre estação e origem das populações foi significativa (ANOVA:  $F_{1,12} = 9,71$ ;  $p < 0,05$ ). Os maiores valores para a EUN foram obtidos na estação seca, em ambas as populações, resultados também encontrados por outros autores onde a EUN aumentou em razão do menor suprimento de N (Hirose & Bazzaz, 1998; Illenseer & Paulilo, 2002; Nardoto *et al.*, 2006).



**Figura 19.** Razão entre N e P (A) e eficiência do uso de N (B) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).

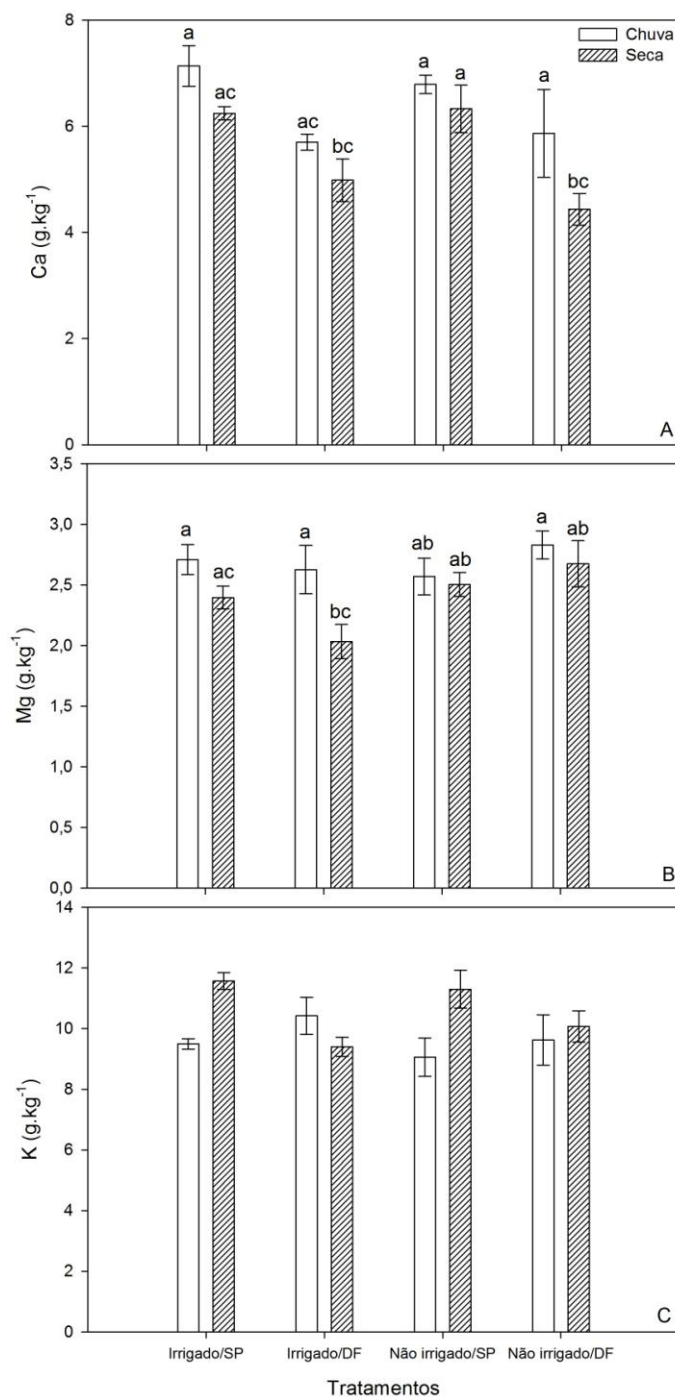
A análise de variância demonstrou que houve uma influência significativa da estação nas concentrações foliares de cálcio (ANOVA:  $F_{1,12} = 13,98$ ;  $p < 0,05$ ), magnésio (ANOVA:  $F_{1,12} = 17,23$ ;  $p < 0,05$ ) e potássio (ANOVA:  $F_{1,12} = 5,7$ ;  $p < 0,05$ ; Figura 20). Os valores mais altos para Ca e Mg e os mais baixos para o K foram encontrados na estação chuvosa, com exceção das concentrações de K para as parcelas irrigadas de origem no DF que seguiram o mesmo padrão do Ca e Mg. A relação entre esses elementos encontrada na estação das chuvas, quando há maior suprimento de água e coincide com a adubação das parcelas, pode ser explicada pela forma como estes interagem no solo. O aumento dos níveis de Ca e Mg diminui o teor de K na matéria seca da parte aérea, resultado de uma competição iônica na solução do solo que interfere na absorção desses elementos pela planta (Marschner, 1993; Moreira *et al.*, 2005)

As diferenças nas concentrações destes elementos entre as populações foram significativas apenas para o Ca (ANOVA:  $F_{1,9} = 19,18$ ;  $p < 0,05$ ), com maiores teores deste na população de São Paulo, não havendo diferenças significativas entre as populações para o Mg (ANOVA:  $F_{1,9} = 0,001$ ;  $p > 0,05$ ) e para o K (ANOVA:  $F_{1,9} = 1,33$ ;  $p > 0,05$ ). Já a comparação entre os tratamentos de irrigação revelou não haver diferenças significativas para nenhum dos elementos anteriormente mencionados (Ca: ANOVA:  $F_{1,9} = 0,27$ ;  $p > 0,05$ ; Mg: ANOVA:  $F_{1,9} = 3,02$ ;  $p > 0,05$ ; K: ANOVA:  $F_{1,9} = 0,26$ ;  $p > 0,05$ ). Os valores de Ca, Mg e K podem variar de acordo com as condições do solo e do clima quando compara-se as concentrações foliares desses elementos dentro de uma mesma espécie ou entre espécies distintas. Os níveis de Ca em *A. aculeata* podem ser considerados altos, médias de  $6,4 \text{ g.kg}^{-1}$  (chuva) e  $5,5 \text{ g.kg}^{-1}$  (seca), quando comparados aos encontrados em *C. nucifera* por Dos Santos *et al.* (2004), média de  $3,2 \text{ g.kg}^{-1}$ , ou por Teixeira e Silva (2003) para híbridos de *C. nucifera*, cerca de  $3,9 \text{ g.kg}^{-1}$ , assim como para *Raphis excelsa*, valores entre  $2,7$  e  $4,0 \text{ g.kg}^{-1}$ , segundo Alves *et al.* (2010).

Já os níveis médios de Mg encontrados neste estudo,  $2,7 \text{ g.kg}^{-1}$  na estação chuvosa e  $2,4 \text{ g.kg}^{-1}$  na seca, foram semelhantes aos encontrados em *C. nucifera* e *R. excelsa*, nos mesmo estudos citados anteriormente. No entanto, Dos Santos *et al.* (2004) encontrou quase o dobro dos níveis de Ca detectados em *A. aculeata*, cerca de  $4,3 \text{ g.kg}^{-1}$ .

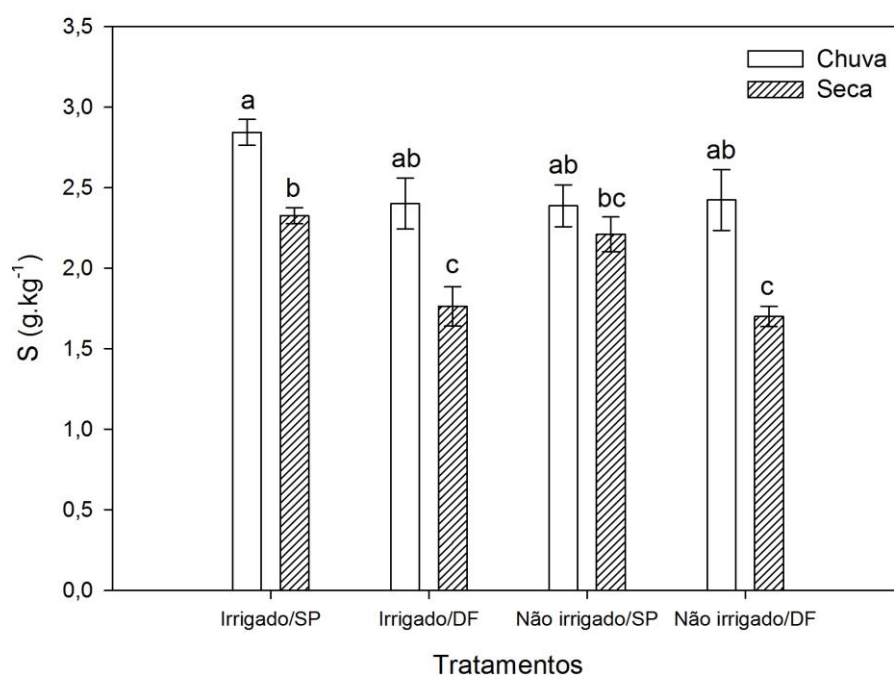
Teores foliares inferiores de K foram verificados em *A. aculeata*, médias de  $9,6 \text{ g.kg}^{-1}$  (chuva) e  $10,6 \text{ g.kg}^{-1}$  (seca), quando comparados aos encontrados em *C. nucifera* (Teixeira e Silva, 2003), média de  $15,2 \text{ g.kg}^{-1}$ , e para *R. excelsa*, valores entre  $18,1$  e  $2,4 \text{ g.kg}^{-1}$  (Alves *et al.*, 2010). O contrário foi verificado quando se comparou as concentrações desse mesmo elemento

entre *A. aculeata* e *C. nucifera* em estudo realizado por Dos Santos *et al.* (2004) onde foi encontrada a média de 5,9 g.kg<sup>-1</sup>.



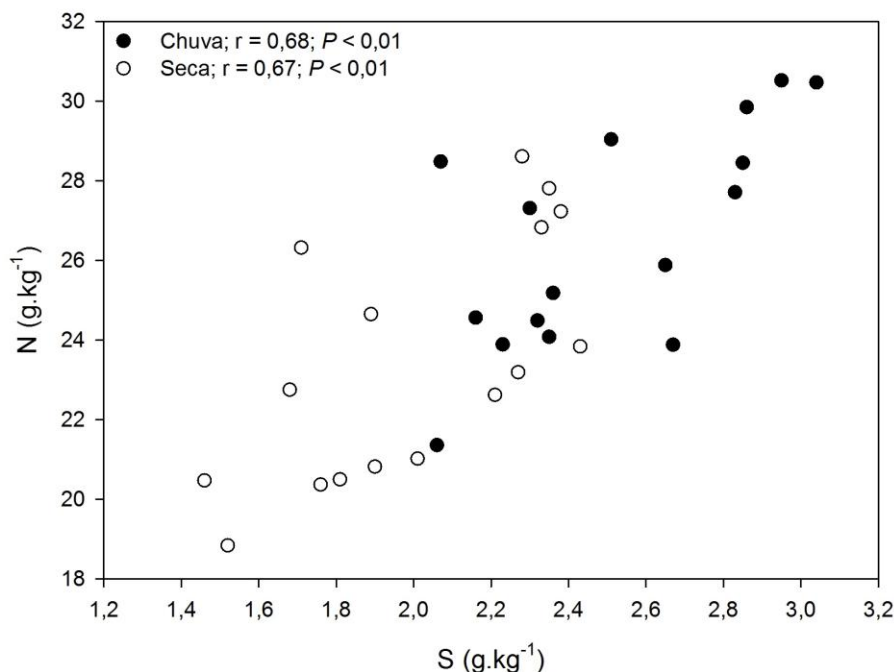
**Figura 20.** Concentrações foliares dos macronutrientes cálcio (A), magnésio (B) e potássio (C) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).

As análises dos teores foliares de enxofre (S; Figura 21) revelaram maiores conteúdos deste elemento na estação chuvosa (ANOVA:  $F_{1,12} = 45,42$ ;  $p < 0,01$ ) e para a população originária de São Paulo (ANOVA:  $F_{1,12} = 18,95$ ;  $p < 0,01$ ), entretanto, não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos de irrigação (ANOVA:  $F_{1,9} = 3,22$ ;  $p > 0,05$ ). Esperava-se que as folhas provenientes de parcelas irrigadas apresentassem teores mais elevados de S, assim como foi demonstrado para a estação chuvosa, quando o suprimento de água favorece a absorção dos nutrientes pela planta.



**Figura 21.** As concentrações foliares do macronutriente enxofre (S) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).

A correlação entre as concentrações foliares de N e S foi positiva e significativa tanto na estação chuvosa quanto na seca (Figura 22). Este resultado era esperado, pois o metabolismo desses elementos é intimamente relacionado, suas assimilações são bem coordenadas e a deficiência de um elemento pode reprimir a assimilação do outro (Epstein & Bloom, 2006; Carfagna *et al.*, 2011).

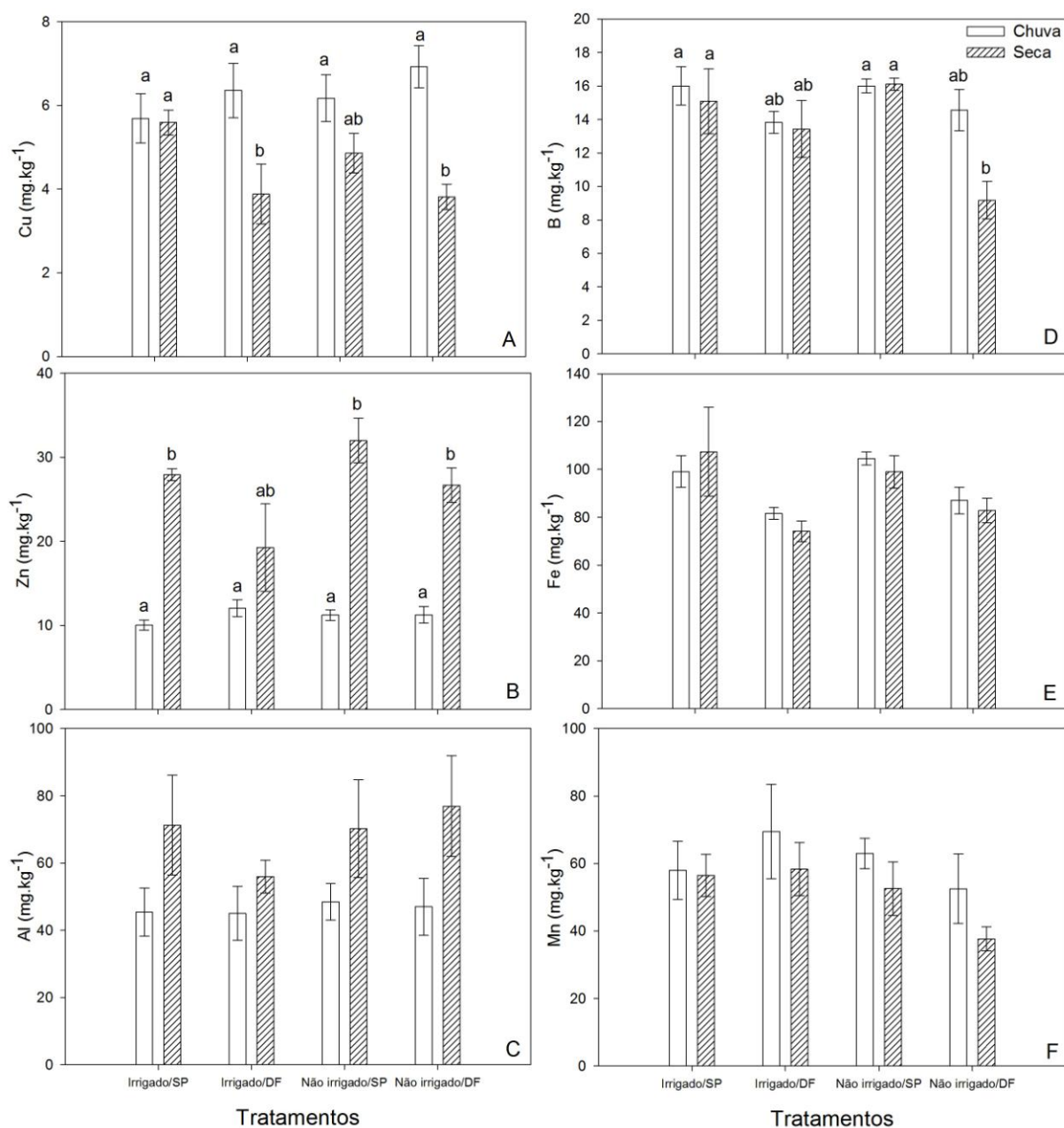


**Figura 22.** Correlação entre concentrações foliares de nitrogênio (N) e enxofre (S) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF) durante as estações seca e chuvosa.

As análises das concentrações foliares dos micronutrientes e de Al revelaram que houve influência do fator estação sobre os teores de cobre (Cu; ANOVA:  $F_{1,12} = 20,58$ ;  $p < 0,01$ ), de zinco (Zn; ANOVA:  $F_{1,12} = 130,42$ ;  $p < 0,001$ ), de manganês (Mn; ANOVA:  $F_{1,12} = 4,88$ ;  $p < 0,05$ ) e de alumínio (Al; ANOVA:  $F_{1,12} = 9,8$ ;  $p < 0,01$ ), sendo que os valores mais altos foram detectados para o Cu e para o Mn na estação chuvosa e o contrário foi verificado para Zn e Al, com os maiores valores encontrados na estação seca. No entanto, não foram encontradas diferenças significativas entre parcelas irrigadas e não irrigadas para nenhum dos elementos avaliados (ANOVA's encontram-se no ANEXO V). A população originada de São Paulo apresentou maiores concentrações foliar de boro (B; ANOVA:  $F_{1,9} = 20,73$ ;  $p < 0,01$ ) e de ferro (Fe; ANOVA:  $F_{1,9} = 16,71$ ;  $p < 0,01$ ; Figura 23).

A correção da acidez do solo e a aplicação de adubos compostos por superfosfato simples podem elevar o pH a ponto de promover um novo equilíbrio iônico em detrimento dos micronutrientes e do Al (Marschner, 1993) e, portanto, reduzir a absorção destes pela planta, a menos que esse desbalanço seja compensado pelo uso de fertilizantes contendo esses nutrientes, o que não ocorreu durante o desenvolvimento desse experimento. Portanto, as reduzidas concentrações foliares de Zn e Al detectadas na estação chuvosa podem ser atribuídas ao

aumento do pH do solo em consequência da adubação, o mesmo padrão era esperado para Mn, Fe e B, sendo o último geralmente afetado também pela lixiviação.



**Figura 23.** Concentrações foliares de cobre (A), zinco (B), alumínio (C), boro (D), ferro (E) e manganês (F) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* irrigados e não irrigados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).



#### 4. Conclusões

A *Acrocomia aculeata* demonstrou um forte controle estomático da transpiração foliar durante a estação seca, que evitou o desenvolvimento de déficits hídricos consideráveis na planta e aumentou a eficiência no uso de água. Contudo houve uma redução significativa na capacidade fotossintética de absorção de CO<sub>2</sub> na época seca, associado a uma redução na concentração foliar de nitrogênio e nos pigmentos fotossintéticos. A irrigação resultou em uma maior recuperação noturna do status hídrico do vegetal, contudo não evitou que ocorresse uma redução acentuada nos valores máximos de A<sub>CO2</sub> e nas concentrações foliares de N e de pigmentos fotossintéticos durante a estação seca. Além disso, não promoveu maior crescimento, em termos de número de folhas produzidas e comprimento da lâmina foliar.

A área foliar específica e as concentrações foliares dos macro e micronutrientes analisados foram influenciadas, principalmente, pelos fatores estação e origem, sem afetar a capacidade fotossintética e o crescimento. Os valores mais altos para N, Ca, Mg, S, Cu e Mn foram encontrados na estação chuvosa, o oposto foi verificado para K, Al e Zn. O fator origem das plantas exerceu uma forte influência nas concentrações de Ca, P, S, B e Fe que foram maiores para a população originada na região de São Paulo. O tratamento de irrigação não influenciou nenhum dos elementos minerais avaliados. Portanto, conclui-se que o suprimento de água utilizado no tratamento de irrigação não foi suficiente para remover os efeitos do déficit hídrico durante o período de seca estudado.

#### 5. Referências Bibliográficas

Aerts R. & Chapin F.S. (2000) The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns. *Advances in Ecological Research*, **30**: 1-67.

Alves F.S., Jasmim J.M., Carvalho A.J.C, Thiébaud J.T.L. (2010) Qualidade e teores de nutrientes de palmeira-rápis em substrato com fibra de coco. *Horticultura Brasileira* **28**:91-96.

Araújo J.F. & Haridasan M. (2007) Relação entre deciduidade e concentrações foliares de nutrientes em espécies lenhosas do cerrado. *Revista Brasileira de Botânica*, **30**(3): 533-542.

Araus J.L. & Hogan K.P. (1994) Leaf structure and patterns of photoinhibition in two neotropical palms in clearings and forest understory during the dry season. *American Journal of Botany*, **81**(6): 726-738.

Azevedo P.V., Sousa I.F., Silva B.B., Silva V.P.R. (2006) Water-use efficiency of dwarf-green coconut (*Cocos nucifera* L.) orchards in northeast Brazil. *Agricultural Water Management*, **84**: 259-264.

Bandeira F.S. (2008) Cultivo in vitro e embriogênese somática de embriões zigóticos de macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Loddiges) Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa – Viçosa – MG.

Calbo M.E.R. & Moraes J.A.P.V. (2000) Efeitos da deficiência de água em plantas de *Euterpe oleracea* (açaf). *Revista Brasileira de Botânica*, **23**: 225-230.

Carfagna S., Vona V., Di Martino V., Esposito S., Rigano C. (2011) Nitrogen assimilation and cysteine biosynthesis in barley: Evidence for root sulphur assimilation upon recovery from N deprivation. *Environmental and Experimental Botany*, **71**: 18-24.

Carr M.K.V. (2011) The water relations and irrigation requirements of coconut (*Cocos nucifera*): a review. *Experimental Agriculture*, **47**(1): 27-51.

Carvalho A. P.F., Bustamante M.M.C., Kozovits A.R., Asner G.P. (2007) Variações sazonais nas concentrações de pigmentos e nutrientes em folhas de espécies de cerrado com diferentes estratégias fenológicas. *Revista Brasileira de Botânica*, **30**(1): 19-27.

Coletta L.D., Nardoto G.B., Latansio-Aidar S.R., Rocha H. R. da, Aidar M.P.M. e Ometto J.P.H. B. (2009) Isotopic view of vegetation and carbon and nitrogen cycles in a cerrado ecosystem, southeastern Brazil. *Scientia Agricola*, **66**(4): 467-475.

De Carvalho R. M., Martins F.R., Santos F.A.M. (1999) Leaf Ecology of Pre-reproductive Ontogenetic Stages of the Palm Tree *Euterpe edulis* Mart. (Arecaceae). *Annals of Botany* **83**: 225-233.

De Steven D., Windsor D.M., Putz F.E., Source B.L. (1987) Vegetative and Reproductive Phenologies of a Palm Assemblage in Panama. *Biotropica*, **4**(19): 342-356.

Dos Santos A.L., Monnerat P.H., Carvalho A.J.C. (2004) Estabelecimento de normas DRIS para o diagnóstico nutricional do coqueiro-anão verde na região norte fluminense. *Revista Brasileira de Fruticultura*, **26**(2): 330-334.

Dufrene E. & Saugier B. (1993) Gás exchange of oil palm in relation to light, vapour pressure déficit, temperature and leaf age. *Functional Ecology*, **7**: 97-104.

Eamus D., Myers B., Duff G., Williams D. (1999) Seasonal changes in photosynthesis of eight savanna tree species. *Tree Physiology*, **19**: 665-671.

Embrapa (1999) Centro Nacional de Pesquisa de Solo (Rio de Janeiro, RJ). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, RJ. 412p.

Embrapa (2005) *Manual de laboratórios: solo, água, nutrição animal e alimentos* (Nogueira A.R.A., Souza G.B., eds.). Embrapa Pecuária Sudeste. São Carlos, SP. 313p.

Epstein E. & Bloom A.J. (2006) *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas*. Londrina. Ed. Planta. 2ª Ed. 403p.

Evans J.R. (1989) Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C<sub>3</sub> plants. *Oecologia*, **78**: 9-19.

Farquhar G.D., Ehleringer I.J.R., Hubick K.T. (1989) Carbon isotope discrimination and photosynthesis. *Annual Reviews Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, **40**:503-537.

Franco A.C. (1998) Seasonal patterns of gas exchange, water relations and growth of *Roupala montana*, an evergreen savanna species. *Plant Ecology*, **136**: 69-76.

Franco A.C. & Lüttge U. (2002) Midday depression in savanna trees: coordinated adjustments in photochemical efficiency, photorespiration, CO<sub>2</sub> assimilation and water use efficiency. *Oecologia*, **131**: 356-365.

Franco A.C. (2004) Estratégias funcionais de plantas lenhosas das savanas do Brasil central: relação ao déficit hídrico e ao regime luminoso. In: *Fisiología ecológica en plantas mecanismos y respuestas a estrés en los ecosistemas*. Editor Hernán Marino Cabrera. EUV, Valparaíso (Chile). 173-188 p.

Franco A.C.; Bustamante M., Caldas L.S., Goldstein G., Meinzer F.C., Kozovits A.R., Rundel P., Coradin V.T.R. (2005) Leaf functional traits of Neotropical savanna trees in relation to seasonal water deficit. *Trees*, **19**: 326-335.

Franco A.C., Matsubara S., Orthen B. (2007) Photoinhibition, carotenoid composition and the co-regulation of photochemical and non-photochemical quenching in neotropical savanna trees. *Tree Physiology*, **27**: 717-725.

Gomes F.P., Oliva M.A., Mielke M.S., de Almeida A.A.F., Leite, H.G. (2008) Photosynthetic limitations in leaves of young Brazilian Green Dwarf coconut (*Cocos nucifera* L. 'nana') palm under well-watered conditions or recovering from drought stress. *Environmental and Experimental Botany*, **62**: 195-204.

Gonçalves J.F.C., R.A. Marengo, Vieira G. (2001) Concentration of photosynthetic pigments and chlorophyll fluorescence of mahogany and tonka bean under two light environments. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, **13**(2): 149-157.

Hirose T. & Bazzaz F.A. (1998) Trade-off between light- and nitrogen-use efficiency in canopy photosynthesis. *Annals of Botany*, **82**: 195-202.

Illenseer R. & Paulilo M.T.S. (2002) Crescimento e eficiência na utilização de nutrientes em plantas jovens de *Euterpe edulis* Mart. sob dois níveis de irradiância, nitrogênio e fósforo. *Acta Botanica Brasilica*, **16**(4): 385-394.

Kanegae M.F., Braz V.S., Franco A.C. (2000) Efeitos da disponibilidade sazonal de água e luz na sobrevivência e crescimento de *Bowdichia virgilioides* em duas fitofisionomias típicas dos cerrados do Brasil Central. *Revista Brasileira de Botânica*, **23**: 457-466.

Larcher W. (2004) *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos. Ed. Rima.

Lemos Filho J.P., Goulart M.F., Lovato M.B. (2008) Populational approach in ecophysiological studies: the case of *Plathymenia reticulata*, a tree from Cerrado and Atlantic Forest. *Braz. J. Plant Physiol.*, **20**(3):205-216.

Liu C., Liu Y., Guo K., Fan D., Li G., Zheng Y., Yu L., Yang R. (2011) Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst habitats of southwestern China. *Environmental and Experimental Botany*, **71**: 174-183.

Lorenzi G.M.A.C. (2006) *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. - *Arecaceae: bases para o extrativismo sustentável*. Tese de Doutorado, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Universidade Federal do Paraná – Curitiba – PR.

Lorenzi, H. (1996) *Palmeiras no Brasil: exóticas e nativas*. Nova Odessa, SP: Ed. Plantarum. 303p.

Lüttge U., Duarte H.M., Scarano F. R., Mattos E.A., Cavalin P.O., Franco A.C., Fernandes G. W. (2007) Physiological ecology of photosynthesis of five sympatric species of Velloziaceae in the rupestrian fields of Serra do Cipó, Minas Gerais, Brazil. *Flora*, **202**: 637-646.

Marschner H. (1993) *Mineral nutrition of higher plants*. San Diego. Academic Press INC. Fifth printing. 674p.

Meinzer F.C., Goldstein G., Franco A.C., Bustamante M., Iglar E., Jackson P., Caldas L., Rundel P.W. (1999) Atmospheric and hydraulic limitations on transpiration in Brazilian cerrado woody species. *Functional Ecology*, **13**: 273-282.

Monteiro J.A.F., Prado C.H.B.A. 2006. Apparent carboxylation efficiency and relative stomatal and mesophyll limitations of photosynthesis in an evergreen cerrado species during water stress. *Photosynthetica*, **44**: 39-45.

Moreira A., Carvalho J.G., Evangelista A.R. (2005) Relação cálcio e magnésio na fertilidade de um latossolo vermelho escuro distrófico cultivado com alfafa. *Ciência e Agrotecnologia*, 29(4): 786-794.

Motta, P.E.F., Curi N., Oliveira-Filho A.T., Gomoies J.B.V. (2002) Ocorrência de macaúba em Minas Gerais: relação com atributos climáticos, pedológicos e vegetacionais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **37**: 1023-1031.

Moura E.F., Motoike S.Y., Ventrella M.C., Sá Júnior A.Q., Carvalho M. (2009) Somatic embryogenesis in macaw palm (*Acrocomia aculeata*) from zygotic embryos. *Scientia Horticulturae*, **119**: 447-454.

Nardoto G.B., Bustamante M.M.C., Pinto A.S., Klink C.A. (2006) Nutrient use efficiency at ecosystem and species level in savanna areas of Central Brazil and impacts of fire. *Journal of Tropical Ecology*, **22**:191-201.

Nazareno R.B., Oliveira C.A.S., Sanzonowicz C., Sampaio J.B.R., Silva J.C.P., Guerra A. F. (2003) Crescimento inicial do cafeeiro Rubi em resposta a doses de nitrogênio, fósforo e potássio e a regimes hídricos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **38** (8): 903-910.

Nogueira R.J.M.C., Moraes J.A.P.V., Burity H.A. (2000) Curso diário e sazonal das trocas gasosas e do potencial hídrico foliar em aceroleiras. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **35**(7): 1331-1342.

Ögren E. (1993) Convexity of the photosynthetic light-response curve in relation to Intensity and direction of light during growth. *Plant Physiology*, **101**: 1013-1019.

Oliveira M.A.J., Bovi M.L.A. , Machado E.C., Gomes M.M.A., Habermann G., Rodrigues J.D. (2002) Fotossíntese, condutância estomática e transpiração em pupunheira sob deficiência hídrica. *Scientia Agricola*, **59** (1): 59-63.

Passos C.D., Passos E.E.M., Prado C.H.B.A. (2005) Comportamento sazonal do potencial hídrico e das trocas gasosas de quatro variedades de coqueiro-anão. *Revista Brasileira de Fruticultura*, **27**(2): 248-254.

Passos E.E.M., Prado C.H.B.A., Aragão W.M. (2009) The influence of vapour pressure deficit on leaf water relations of *Cocos nucifera* in northeast Brazil. *Experimental Agriculture*, **45**: 93–106.

Pompelli M. F., Barata-Luís R., Vitorino H.S., Gonçalves E.R., Rolim E.V., Santos M.G., Almeida-Cortez J.S., Ferreira V.M., Lemos E.E., Endres L. (2010) Photosynthesis, photoprotection and antioxidant activity of purging nut under drought deficit and recovery. *Biomass and Bioenergy*, **34**: 1207-1215.

Prior L.D., Bowman D.M.J.S., Eamus D. (2004) Seasonal differences in leaf attributes in Australian tropical tree species: family and habitat comparisons. *Functional Ecology*, **18**:707-718.

Reich P.B., Ellsworth D.S., Walters M.B. (1998) Leaf structure (specific leaf area) modulates photosynthesis-nitrogen relations: evidence from within and across species and functional groups. *Functional Ecology*, **12**: 948-958.

Rocha Filho L.C. & Lomônaco C. (2006) Variações fenotípicas em subpopulações de *Davilla elliptica* A. St.-Hil. (Dilleniaceae) e *Byrsonima intermedia* A. Juss. (Malpighiaceae) em uma área de transição cerrado-vereda. *Acta bot. bras.* **20**(3): 719-725.

Sampaio M.B. & Scariot A. (2008) Growth and reproduction of the understory palm *Genoma schottiana* Mart. In the gallery forest in Central Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, **31**: 433-442.

Scalona J.M., Flexas J., Medrano H. (1999) Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis under stress in field-grown grapevines. *Australian Journal Plant Physiology*, **26**: 421-433.

Scariot, A (1998) Seed dispersal and predation of the palm *Acrocomia aculeata*. *Principes*, **4**(2): 5-8.

Takahashi F.S.C. (2010) *Atributos e tipos funcionais de espécies lenhosas no cerrado*. Tese de Doutorado. Departamento de Ecologia. Universidade de Brasília. 133p.

Teixeira L.A.J. , Bataglia O.C., Buzetti S.R, Furlani Junior E. (2005) Adubação com NPK em coqueiro anão-verde (*Cocos nucifera* L.) – Atributos químicos do solo e nutrição da planta. *Revista Brasileira de Fruticultura*, **27**(1): 115-119.

Teixeira L.A.J. & Silva J.A.A. (2003) Nutrição mineral de populações e híbridos de coqueiro (*Cocos nucifera* L.) cultivados em Bebedouro (SP). *Revista Brasileira de Fruticultura*, **25**(2): 371-374.

Tucci M.L.S., Erismann N.M., Machado E.C., Ribeiro R.V. (2010) Diurnal and seasonal variation in photosynthesis of peach palms grown under subtropical conditions. *Photosynthetica*, **48**(3): 421-429.

Wellburn A.R. (1994) The spectral determination of Chlorophylls *a* and *b*, as well as total Carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*, **144**: 307-313.



Wright I.J., Reich P.B., Westoby M. (2001) Strategy shifts in leaf physiology, structure and nutrient content between species of high- and low-rainfall and high- and low-nutrient habitats. *Functional Ecology*,**15**: 423-434.

Zar, H.J. (2010) *Biostatistical Analysis*. 5<sup>a</sup> Ed. New Jersey. Ed. Prentice Hall. 663p.

## **CAPÍTULO 2**

**Respostas Fotossintéticas e Nutricionais de Duas Populações de  
*Acrocomia aculeata* (Jacquin) Loddies ex Martius Submetidos à  
Adubação**

## 1. Introdução

O estabelecimento e a manutenção das espécies vegetais são fortemente controlados por diversos fatores do ambiente como a disponibilidade de água, de luz e de nutrientes minerais. Acredita-se que a baixa disponibilidade de nutrientes, típica dos latossolos distróficos, seja o principal fator limitante da produtividade tanto nas áreas de Cerrado (Haridasan, 2000) quanto em outras regiões dos trópicos (Aerts & Chapin, 2000). No entanto, a palmeira *Acrocomia aculeata* ocorre naturalmente tanto em áreas consideradas férteis (Motta *et al.*, 2002) quanto em áreas pobres em nutrientes, que vão desde a região amazônica no Pará até São Paulo (Lorenzi, 1996), incluindo áreas onde a degradação do solo é intensa (Scariot *et al.*, 1987).

A nutrição mineral influencia direta e indiretamente o metabolismo do carbono devido a sua importância na morfogênese e no crescimento da planta. Assim, o aumento da produtividade em resposta à fertilização pode ser consequência do aumento da capacidade fotossintética da folha que é positivamente correlacionada com o conteúdo de nitrogênio, de pigmentos fotossintetizantes e da área foliar específica (Evans, 1989; Reich *et al.*, 1998; Franco *et al.*, 2005). Os baixos níveis de fósforo em solos tropicais intemperizados também são considerados fatores limitadores da produtividade. Além disso, os metabolismos desses elementos são intimamente relacionados, portanto, o enriquecimento simultâneo de nitrogênio e fósforo produz fortes respostas sinérgicas positivas em todos os ambientes estudados (Elser *et al.*, 2007);

As concentrações foliares de macro e micronutrientes podem estar relacionadas tanto com a disponibilidade hídrica sazonal quanto com os mecanismos de absorção e translocação relacionados à idade da folha (Tang *et al.*, 2004; Franco *et al.*, 2005; Araújo & Haridasan, 2007). Portanto, a menor disponibilidade de água no solo, durante os períodos de estiagem, diminui a absorção dos nutrientes minerais pelas raízes afetando os processos metabólicos das plantas como a fotossíntese (Taiz & Zeiger, 2004) e reduzindo sua produtividade anual.

Em contrapartida, a adição de fertilizantes em excesso pode causar um aumento da respiração celular, reduzindo o rendimento fotossintético (Larcher, 2004), e ainda aumentar os riscos de embolia do xilema que poderia afetar o balanço hídrico da planta (Bucci *et al.*, 2006). Além disso, a perda de nutrientes excedentes pode causar sérios danos ao ambiente (Vitousek *et al.*, 2009). Portanto, o conhecimento das necessidades nutricionais e da relação entre fatores ambientais, fixação de carbono e produtividade se torna importante para a realização de um manejo efetivo da adubação.

Outro ponto que chama a atenção é a possível ocorrência de diferenças entre populações com origem em regiões geográficas distintas. A heterogeneidade ambiental é uma importante fonte de diversidade morfológica e ecofisiológica nas plantas, que muitas vezes possuem caráter adaptativo (Rocha Filho & Lomônaco, 2006; Lemos Filho *et al.*, 2008). Portanto, o estudo de populações originadas de localidades relativamente distantes pode auxiliar na seleção de genótipos com características desejáveis para a exploração econômica, como maior produtividade, maior resistência à sazonalidade das chuvas, com menor demanda nutricional e, no caso da *A. aculeata*, com menor estatura e densidade de espinhos.

A baixa disponibilidade de nutrientes, típica das áreas de Cerrado é um dos principais fatores limitantes da produtividade primária. Assim, espera-se que plantas com maior suprimento de nutrientes apresentem maior eficiência de utilização da luz e maior assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, principalmente na estação chuvosa quando a disponibilidade hídrica possibilita maior absorção de nutrientes. Também é esperado que as folhas produzidas durante a estação seca apresentem menores concentrações de macro e micronutrientes, devido à disponibilidade reduzida em consequência da menor quantidade de água no solo, e maior eficiência do uso da água e do nitrogênio quando comparadas àquelas produzidas durante a estação chuvosa.

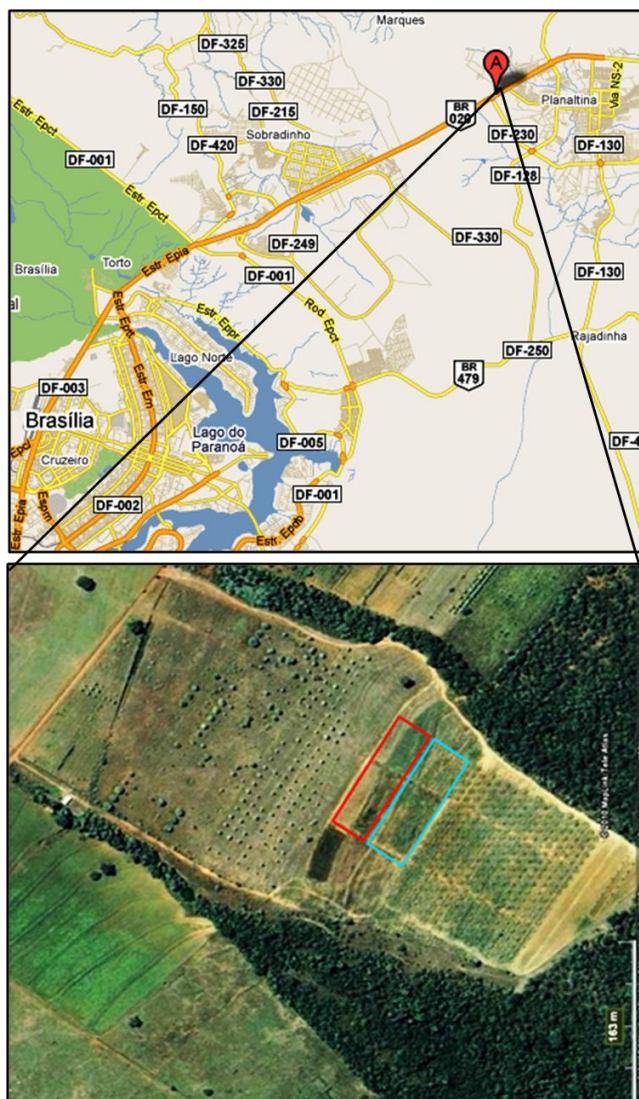
Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar as respostas fotossintéticas e nutricionais de exemplares da *Acrocomia aculeata* submetidos à adubação através da análise de parâmetros ecofisiológicos, relacionados ao balanço hídrico, balanço de carbono e nutrição mineral, e produtividade de folhas. O conhecimento gerado por esse estudo poderá ser utilizado no planejamento do manejo eficiente da espécie visando o melhor aproveitamento e sua conservação.

## **2. Material e Métodos**

### *2.1. Área de estudo e desenho experimental*

O estudo foi realizado no Campo Experimental do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC) – Embrapa Cerrados (km 18 da BR 020), município de Planaltina, Distrito Federal, a 35 km de Brasília, sob coordenadas geográficas 15°60' S e 47°73' W. O relevo da área do experimento apresenta declividade leve, solo do tipo Latossolo vermelho e amarelo, profundo e bem drenado (Embrapa, 1999). A vegetação original era de cerrado típico, mas, anteriormente à

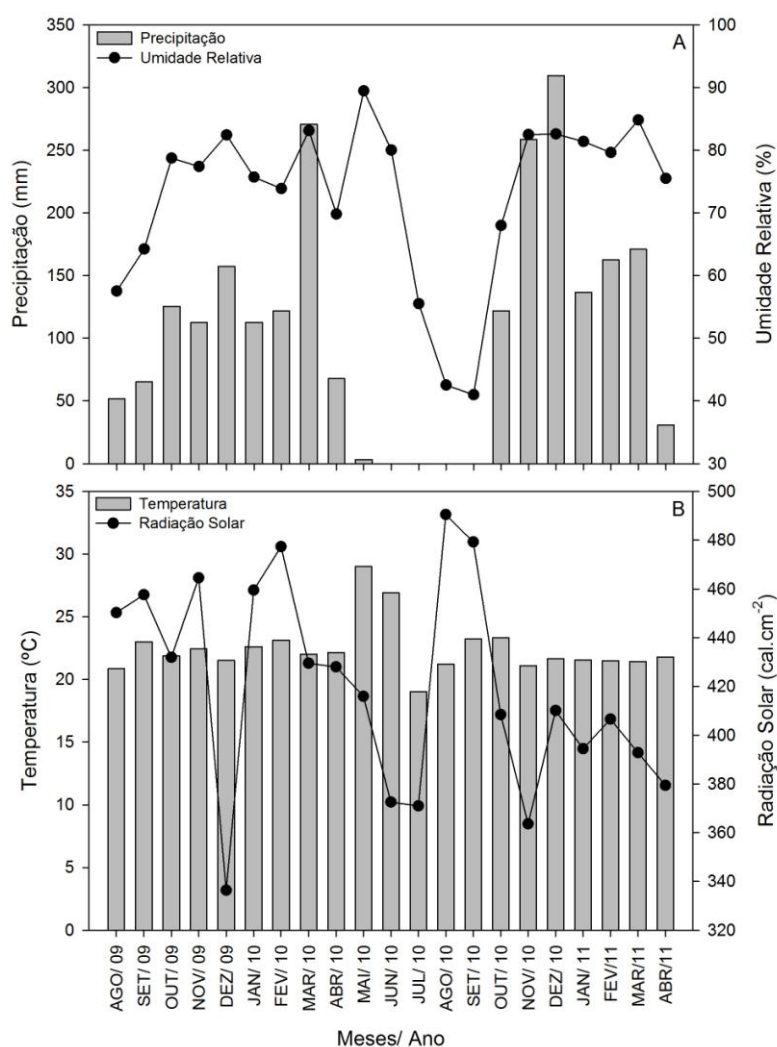
implantação deste experimento, havia o cultivo da gramínea do gênero *Brachiaria*. A Figura 1 destaca o local onde se localiza o experimento no interior do CPAC, o retângulo vermelho representa o experimento de adubação, e mostra que em seu entorno há áreas de cultivo e fragmentos de cerrado.



**Figura 124.** Localização da área de estudo no interior do Campo Experimental da Embrapa Cerrados – CPAC. A área destacada em vermelho representa o experimento de adubação (Fonte: <http://maps.google.com.br>, acesso: 19/11/2010).

Os dados climatológicos do período de estudo (setembro de 2009 a primeira semana de abril de 2011) foram fornecidos pela estação meteorológica localizada no CPAC. Em 2010, a precipitação decresceu acentuadamente nos meses de abril a maio, sendo que os meses de junho a

setembro praticamente não foi registrado nenhum índice de chuvas (Figura 2A). A estação seca em 2010 foi mais intensa e prolongada, estendendo-se sem chuvas até final de setembro. Em contrapartida, a estação chuvosa de outubro de 2010 a fevereiro de 2011 foi mais intensa que a anterior. A umidade relativa do ar se manteve entre 70 e 90% durante os meses chuvosos atingindo níveis médios abaixo de 60% nos meses de mais secos (Figura 2A). As temperaturas médias máximas ocorreram nos meses de maio e junho de 2010 sendo que as mínimas em julho e agosto do mesmo ano (Figura 2B). Os menores valores médios de radiação solar coincidem com os meses de dezembro de 2009 e novembro de 2010 a abril de 2011 (Figura 2B).

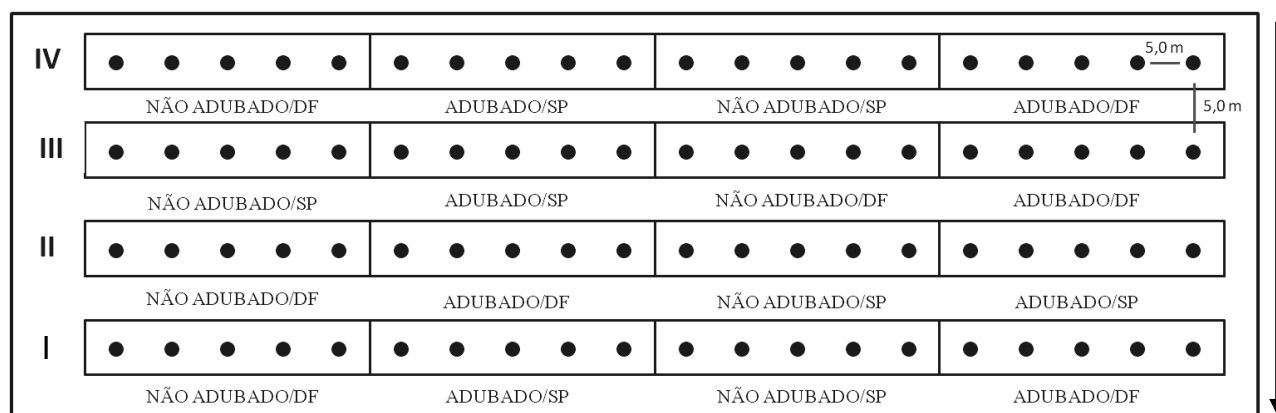


**Figura 2.** Médias mensais dos dados climáticos do período de estudo fornecidos pela estação meteorológica do CPAC. A – Precipitação e umidade relativa do ar; B – Temperatura e radiação solar.

O experimento apresenta um delineamento fatorial 2 x 2 em blocos casualizados e quatro repetições para cada tratamento. O delineamento em blocos foi adotado devido a diferenças na presença de alumínio e de potássio no solo, de acordo com a análise realizada em maio de 2008 pela Embrapa Cerrados. Os tratamentos foram combinados em parcelas adubadas com exemplares provenientes do Estado de São Paulo (SP) e do Território do Distrito Federal (DF), e parcelas não adubadas com exemplares provenientes de SP e do DF (Figura 3).

Os exemplares procedentes de SP foram retirados do município de Buritizal (20°14' S e 47°44,70' W) e os oriundos do DF, da cidade satélite de Paranoá (15°53' S e 47°24' W). Devido à difícil germinação apresentada pela *A. aculeata* (Bandeira, 2008; Moura *et al.*, 2009), optou-se pela extração de mudas já formadas de seu local de origem. Estas foram selecionadas de acordo com sua semelhança em altura e idade, em seguida foram transplantadas no campo experimental.

Em relação à origem das populações, as parcelas foram distribuídas ao acaso em quatro blocos. No entanto, para evitar que a lâmina d'água transportasse os nutrientes das parcelas adubadas para as não adubadas devido à declividade do terreno, o tratamento de adubação não pôde ser aleatorizado, permanecendo lado a lado somente parcelas adubadas ou não adubadas (Figura 3). Contudo, para fins de análises estatísticas consideraram-se blocos casualizados. O experimento possui 16 parcelas compostas por cinco plantas com espaçamento de cinco metros entre si e entre as parcelas.



**Figura 3.** Desenho do experimento de adubação (sem escala). Os números romanos representam os blocos, os retângulos representam as parcelas e seus respectivos tratamentos e os círculos representam os exemplares de *Acrocomia aculeata*, cinco por parcela. A seta indica o sentido da declividade do terreno.

Anteriormente ao transplante das mudas, realizado em dezembro de 2008, foi aplicado 3,0Mg de Calcário/ha e 2 Mg de Gesso/ha para corrigir a acidez do solo. Em seguida ao transplante das mudas ocorreu a adubação de plantio, onde as parcelas submetidas ao tratamento não adubado receberam 50g de adubo NPK (4:30:16) e as parcelas do tratamento adubado receberam 300g de adubo NPK (4:30:16) para cada cova.

Apenas as parcelas do tratamento adubado receberam adubação de cobertura, sendo que a primeira foi em fevereiro de 2009 e a segunda, em abril de 2009. Ambas consistiram de 100 gramas de sulfato de amônio. A partir do primeiro ano após o plantio, a adubação ocorreu a cada três meses durante a estação das chuvas (dez/2009, mar/2010, dez/2010, mar/2010, out/2010 e jan/2011) e foi composta por 200g da mistura de sulfato de amônia, superfosfato simples e cloreto de potássio (2:1:1).

Os parâmetros analisados foram amostrados durante os dias que compreenderam os picos das estações seca, nos meses de setembro de 2009 e agosto de 2010, e chuvosa, nos meses de janeiro e fevereiro de 2010 e fevereiro a abril de 2011. Com exceção dos nutrientes foliares e do alumínio que foram amostrados somente em setembro de 2009 e janeiro de 2010. Para os procedimentos de coleta que não permitiram amostrar todos os indivíduos da parcela no mesmo dia, a amostragem ocorreu em indivíduos previamente sorteados.

## *2.2. Potencial hídrico foliar*

O potencial hídrico foliar foi obtido utilizando-se uma câmara de pressão (Model1000/PMS-USA) em dois períodos do dia, entre 3:00h e 6:00h e entre 12:00h e 14:00h. Foram amostradas duas plantas por parcela. Os valores de potencial hídrico da madrugada foram obtidos da última folha expandida de cada planta e os valores do meio-dia, da penúltima folha expandida.

## *2.3. Trocas gasosas foliares*

Para obter os dados de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> ( $A_{CO_2}$ ), condutância estomática ( $g_s$ ) e transpiração foliar (E) foi utilizado um analisador de gás por infravermelho portátil (IRGA) LC-PRO (ADC, Hoddesdon, UK). O sistema também mede a temperatura do ar no interior da câmara



foliar, a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFF), a temperatura foliar e a concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico. As medidas foram tomadas sempre na última folha totalmente expandida, sendo os folíolos (dois ou mais) dispostos de maneira que ocupassem toda a área da câmara foliar sem se sobreporem e em apenas um indivíduo sorteado por parcela.

As curvas de resposta à luz foram realizadas utilizando-se diferentes densidades de fluxo de fótons (DFF= 2000, 1400, 1200, 1000, 800, 600, 400, 200, 150, 50, 20 e 0  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ), em ordem decrescente, na faixa da radiação fotossinteticamente ativa, de 400 a 700nm, com intervalos de três minutos entre cada leitura em temperatura constante de 25°C. Foi utilizada a fonte de luz composta por lâmpadas de LED azuis e vermelhas do próprio LC-PRO.

Os valores obtidos através das curvas de resposta à luz foram ajustados ao modelo de hipérbole não retangular indicado por Thornley (1976):

$$A = \frac{\alpha Q + (A_{\max} + R_d) - \sqrt{[(\alpha Q + (A_{\max} + R_d))^2 - 4\xi\alpha Q(A_{\max} + R_d)]}}{2\xi} - R_d$$

sendo que A é a taxa de fotossíntese líquida, Q é a DFF incidente na folha,  $\alpha$  é o rendimento quântico da fotossíntese,  $A_{\max}$  é a taxa fotossintética líquida máxima,  $R_d$  é a respiração mitocondrial e  $\xi$  define o grau de convexidade da curva. Para obter os valores dessas variáveis, os valores reais obtidos no campo foram analisados através do programa estatístico gratuito R versão 2.11.1 (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria; Anexo I). Os resultados obtidos através do ajuste dos valores reais ao modelo de hipérbole não retangular foram comparados com os valores reais de assimilação máxima de CO<sub>2</sub> ( $A_{\max\text{real}}$ ) e respiração no escuro ( $R_{\text{dreal}}$ ) obtidos no campo.

Os valores máximos de  $A_{\text{CO}_2}$ , E e  $g_s$  foram retirados das curvas de resposta à luz citadas anteriormente, porém não ajustadas pela equação da hipérbole não retangular, e especificamente sob a DFF de 2000  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ .

As medidas de  $A_{\text{CO}_2}$ ,  $g_s$  e E realizadas ao longo do dia foram tomadas nos períodos entre 8:00 e 9:00 h, 10:00 e 11:00h, 12:00 e 13:00h, 14:00 e 15:00h e 16:00 e 17:00h, sob condições de luz e de temperatura do ambiente, em triplicatas a cada 20 segundos após um período de aclimação de um a 1,5 minutos, em dois ou mais folíolos da última folha totalmente expandida.

#### 2.4. Eficiência do uso da água

Os valores da eficiência do uso da água (EUA) foram obtidos através da razão entre a assimilação líquida de CO<sub>2</sub> e a transpiração foliar. Já os valores da eficiência intrínseca do uso da água (EIUA) foram obtidos através da razão entre a assimilação líquida de CO<sub>2</sub> e a condutância estomática (Larcher, 2004).

#### 2.5. Área foliar específica, pigmentos fotossintéticos, macro e micronutrientes e alumínio foliares

Para determinar a área foliar específica (AFE), em cm<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>, foram amostrados um folíolo da última folha totalmente expandida de cada planta dentro da parcela e obtida a razão entre a área média dos folíolos e a massa seca média após secagem dos mesmos em estufa, a 70°C por 72 horas, seguida de pesagem em balança de precisão ( $\pm 0,0001$ g). A área do folíolo foi obtida cortando-o na forma de um quadrado com lados iguais e medindo-se com uma régua.

As concentrações das clorofilas *a* e *b* e de carotenos foram determinadas através do método proposto por Wellburn (1994), onde discos foliares de 2,00 cm de diâmetro foram colocados em tubos de centrífuga (Eppendorffe) de cor âmbar contendo 2,00 ml de DMF (N,N - dimetilformamida). Os tubos foram mantidos no escuro a uma temperatura de 4°C por um período de 48 horas. As amostras foram medidas no espectrofotômetro Genesys 2 (Termo Spectronic) sendo determinada a absorvância a 480, 645 e 663nm.

Para determinar as concentrações foliares dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S, dos micronutrientes B, Cu, Fe, Zn e Mn e do Al, foram coletados os folíolos de posição mediana da última folha totalmente expandida de todos os indivíduos da parcela. Estes foram lavados com água destilada e secos em estufa a 70°C, triturado em moinho do tipo Wiley e peneirados em peneiras de 2,0 mm.

As análises químicas do conteúdo de nutrientes foliares foram realizadas pelo Laboratório de Química Analítica de Plantas do CPAC – Embrapa Cerrados. Para a digestão do tecido foliar foi utilizada uma solução de ácido perclórico (HClO<sub>4</sub>) e peróxido de sódio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Em seguida, as concentrações foliares dos macro e micronutrientes e do Al foram determinadas por meio de espectrometria por emissão óptica por plasma de argônio, com exceção do nitrogênio que foi detectado por meio de colorimetria em um espectrofotômetro UV-visível, conforme metodologia descrita por EMBRAPA (2005).

## 2.6. *Eficiência do uso do Nitrogênio*

A eficiência do uso do N foi calculada através da razão entre os valores máximos da assimilação líquida de CO<sub>2</sub> e o conteúdo de N por unidade de área foliar (Hirose & Bazzaz, 1998).

## 2.7. *Produção e comprimento de folhas*

O número médio de folhas produzidas foi contado a partir da última folha totalmente expandida, marcada no mês de setembro de 2009, até a última folha completamente expandida no mês de outubro de 2010. O comprimento da última folha expandida de cada indivíduo foi amostrado no mês de junho de 2010, para isso utilizou-se uma trena e mediu-se o comprimento da nervura central a partir da inserção dos dois primeiros folíolos, próximos a base da folha, até a inserção dos últimos folíolos próximos a extremidade da folha.

## 2.8. *Análise estatística*

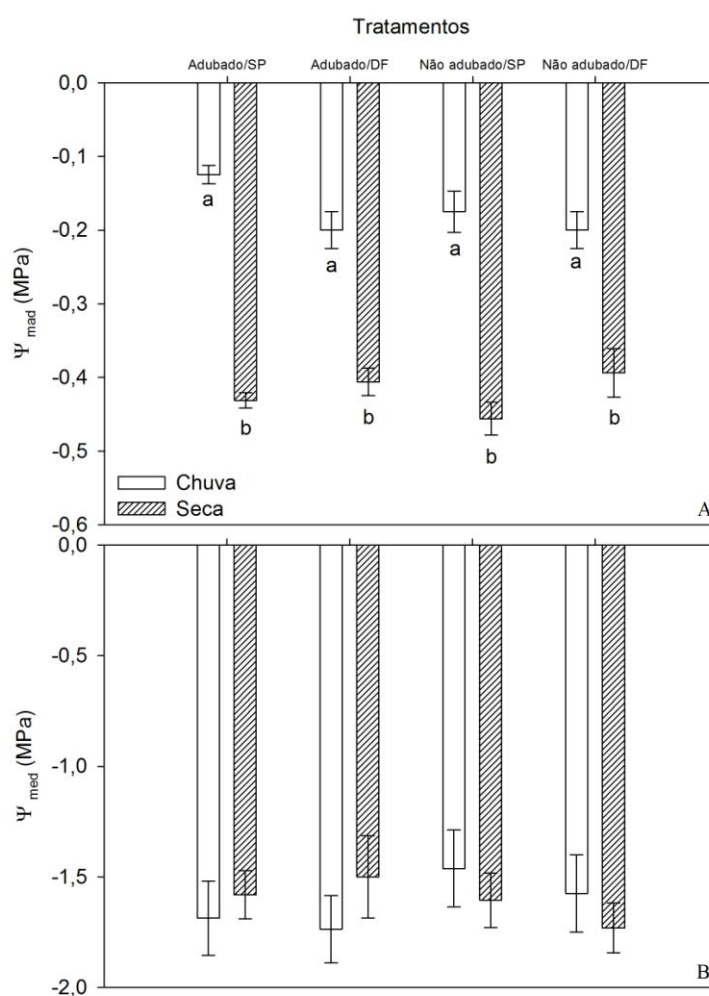
Todos os dados foram analisados utilizando o software STATISTICA versão 8.0. A normalidade dos dados foi testada com teste de Shapiro-Wilk, apropriado para tamanhos amostrais pequenos. Os dados que não apresentaram normalidade foram transformados utilizando-se log na base 10. Para se determinar os efeitos da irrigação, da origem e da estação foi utilizada uma análise de variância de medidas repetidas com quatro fatores (Bloco, Estação, Tratamento de irrigação e Origem da população) seguido do Teste HSD de Tukey, onde foi adotado nível de significância a 5%. As figuras, assim como as regressões e correlações, foram efetuadas com o programa SigmaPlot 11.0 para Windows.

# 3. **Resultados e Discussão**

## 3.1. *Potencial hídrico foliar, trocas gasosas foliares e eficiência do uso da água*

Os resultados obtidos para as medidas de potencial hídrico, realizadas antes do amanhecer ( $\Psi_{\text{mad}}$ ), mostraram diferenças significativas entre as estações seca e chuvosa para todos os

tratamentos (ANOVA:  $F_{1,12} = 137,69$ ;  $p < 0,001$ ). Entretanto, o potencial hídrico do meio-dia ( $\Psi_{med}$ ) não apresentou diferenças significativas entre as estações (ANOVA:  $F_{1,12} = 0,007$ ;  $p > 0,05$ ). As análises também revelaram que, para ambos os horários de coleta, os resultados obtidos foram semelhantes quando a comparação foi realizada entre parcelas adubadas e não adubadas ( $\Psi_{mad}$ : ANOVA:  $F_{1,9} = 0,56$ ;  $p > 0,05$ ;  $\Psi_{med}$ : ANOVA:  $F_{1,9} = 0,09$ ;  $p > 0,05$ ) e entre as duas populações estudadas ( $\Psi_{mad}$ : ANOVA:  $F_{1,9} = 0,90$ ;  $p > 0,05$ ;  $\Psi_{med}$ : ANOVA:  $F_{1,9} = 0,23$ ;  $p > 0,05$ ), indicando que a fertilização não influenciou no balanço hídrico desta espécie (Figura 4). Além disso, houve uma interação significativa entre estação e origem das populações no  $\Psi_{mad}$  (ANOVA:  $F_{1,12} = 6,96$ ;  $p < 0,05$ ).

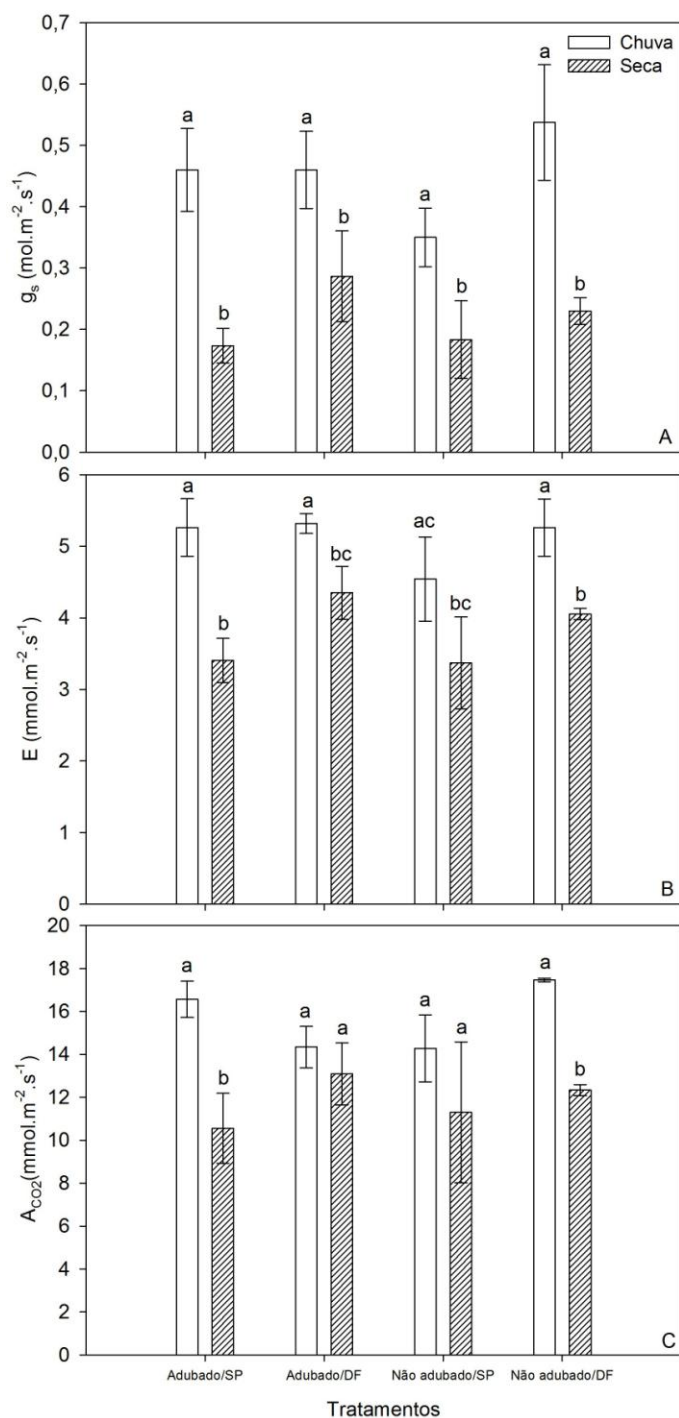


**Figura 4.** Potencial hídrico foliar da madrugada (A) e do meio-dia (B) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* adubados e não adubados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).

O status hídrico das plantas pode variar de acordo com a espécie e a quantidade de nutrientes disponíveis no solo. Tang *et al.* (2004) em um estudo realizado com *Pinus taeda* L. (pinus) não encontraram diferenças significativas para o  $\Psi_{\text{mad}}$  e para o  $\Psi_{\text{med}}$  quando comparou parcelas adubadas e não adubadas, assim como no presente estudo para *A. aculeata*. No entanto, Bucci *et al.* (2006), em um estudo utilizando-se tratamentos de fertilização nitrogenada em espécies arbóreas do cerrado, encontraram valores mais negativos de  $\Psi_{\text{med}}$  nas parcelas adubadas. Sua explicação foi a de que plantas crescendo com alta disponibilidade de nutrientes são mais susceptíveis ao estresse hídrico devido à possibilidade de formação de embolia no xilema.

Os valores menos negativos de  $\Psi_{\text{mad}}$  encontrados na estação chuvosa demonstram claramente que a disponibilidade de água influencia o balanço hídrico das plantas e a recuperação do turgor celular durante a noite (Nogueira *et al.*, 2000; Passos *et al.*, 2005; 2009). Em relação ao  $\Psi_{\text{med}}$ , os valores semelhantes entre as estações contrariam outros trabalhos realizados com espécies arbóreas no cerrado e com palmeiras, onde foram encontrados valores mais negativos tanto de madrugada quanto ao meio-dia na estação seca, quando a demanda evaporativa do ar é maior (Meinzer *et al.*, 1999; Nogueira *et al.*, 2000; Franco *et al.*, 2005; Passos *et al.*, 2005; 2009). Os resultados de  $\Psi_{\text{med}}$  obtidos podem ser explicados pelos valores mais altos de  $g_s$  (ANOVA:  $F_{1,12} = 284,52$ ;  $p < 0,001$ ; Figura 5A) e de E (ANOVA:  $F_{1,12} = 413,47$ ;  $p < 0,001$ ; Figura 5B) medidos na estação chuvosa e maior EIUA na estação seca (ANOVA:  $F_{1,12} = 22,76$ ;  $p < 0,001$ ; Figura 7B), indicando que ocorre uma forte limitação da abertura estomática quando há menos água disponível e menor umidade relativa do ar.

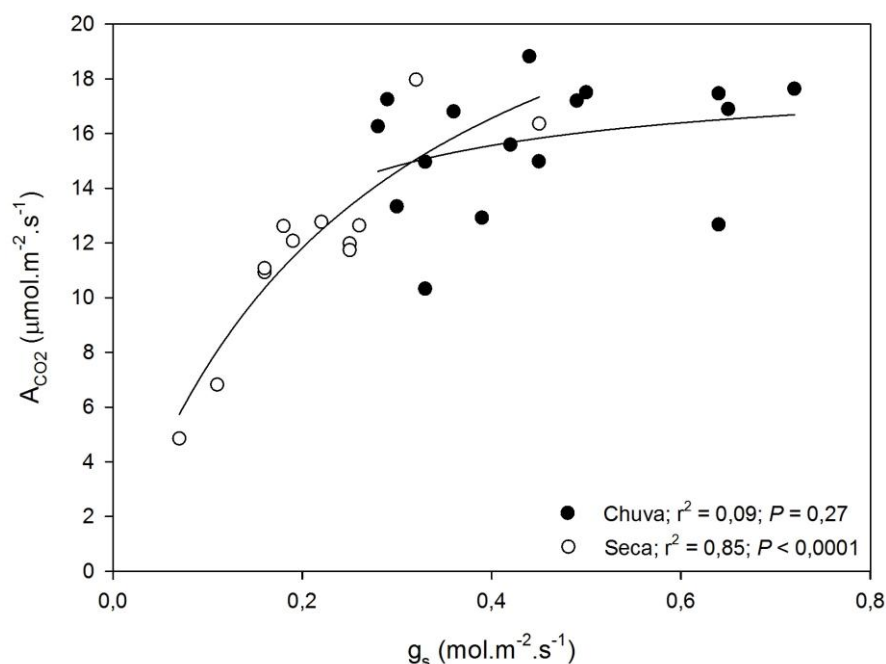
A redução da  $g_s$  durante o período de seca indica que o fechamento estomático é influenciado pela sazonalidade das chuvas. Os resultados obtidos concordam com outros estudos realizados com palmeiras de diferentes espécies, submetidas ou não a adubação, onde os autores concluíram que a  $g_s$  é fortemente controlada pelas condições atmosféricas de umidade relativa (Dufrene & Saugier, 1993; Calbo & Moraes, 2000; Oliveira *et al.*, 2002; Passos *et al.*, 2005; 2009; Tucci *et al.*, 2010). O efeito do controle estomático sobre a  $A_{\text{CO}_2}$ , causando um decréscimo significativo de seus valores na estação seca (ANOVA:  $F_{1,12} = 354,77$ ;  $p < 0,001$ ; Figura 5C) é evidenciado pela grande correlação encontrada entre  $A_{\text{CO}_2}$  e  $g_s$ , no entanto essa relação não foi significativa na estação chuvosa quando  $g_s$  deixou de ser um fator limitante de  $A_{\text{CO}_2}$  (Figura 6).



**Figura 5.** Trocas gasosas foliares. Condutância estomática (A); Transpiração foliar (B); Assimilação máxima de  $\text{CO}_2$  sob saturação de luz (C) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* adubados e não adubados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).

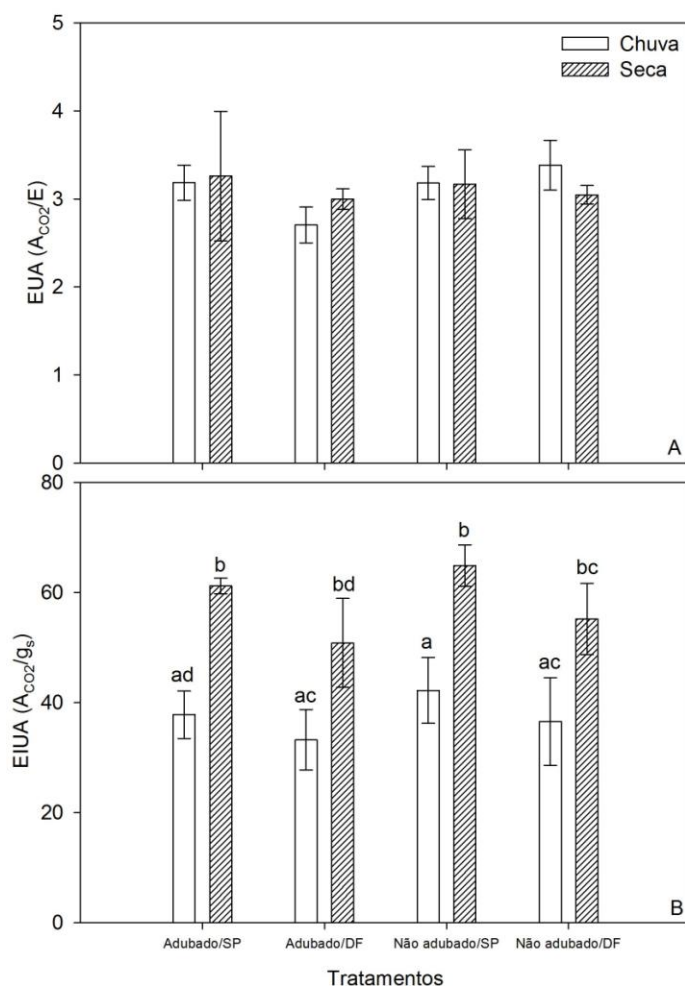
O fator origem das populações influenciou significativamente os parâmetros de  $g_s$ , E e  $A_{CO_2}$  ( $g_s$ : ANOVA:  $F_{1,9} = 5,9$ ;  $p < 0,05$ ; E: ANOVA:  $F_{1,9} = 7,55$ ;  $p < 0,05$  e  $A_{CO_2}$ : ANOVA:  $F_{1,9} = 5,6$ ;  $p < 0,05$ ) onde verifica-se a tendência dos exemplares oriundos do DF apresentarem valores mais elevados de trocas gasosas foliares.

Destaca-se que não foram encontradas diferenças significativas entre parcelas adubadas e parcelas não adubadas ( $g_s$ : ANOVA:  $F_{1,9} = 0,1$ ;  $p > 0,05$ ; E: ANOVA:  $F_{1,9} = 1,98$ ;  $p > 0,05$  e  $A_{CO_2}$ : ANOVA:  $F_{1,9} = 0,8$ ;  $p > 0,05$ ) para os parâmetros anteriormente citados. Contudo, esperava-se encontrar valores mais elevados, sobretudo na estação chuvosa, em decorrência do incremento de nutrientes minerais através da fertilização, especialmente de N que possui um papel importante no metabolismo do carbono (Mooney *et al.*, 1995; Anten *et al.*, 1998), assim como nos exemplares proveniente de São Paulo que apresentaram maiores concentrações foliares de N e P (Figura 14). As respostas fotossintéticas à fertilização parecem variar em função da espécie em questão, podendo ter um efeito neutro como em *A. aculeata* ou um efeito negativo, como descrito para *Blepharocalyx salicifolius* (Kunth) O. Berg e para *Caryocar brasiliense* Cambess., onde a fertilização por N e P combinados causou um decréscimo nos valores de  $A_{CO_2}$  (Saraceno, 2006).



**Figura 6.** Relação entre a assimilação máxima de  $CO_2$  ( $A_{CO_2}$ ) e a condutância estomática ( $g_s$ ) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* adubados e não adubados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF) durante as estações seca e chuvosa. As linhas são as funções não lineares resultantes do ajuste dos valores obtidos para todos os tratamentos dentro de cada estação.

Os resultados obtidos para a EUA (Figura 7A) não demonstraram influencia significativa dos fatores adubação (ANOVA:  $F_{1,9} = 2,0$ ;  $p > 0,05$ ), origem (ANOVA:  $F_{1,9} = 0,03$ ;  $p > 0,05$ ) e estação (ANOVA:  $F_{1,12} = 4,04$ ;  $p > 0,05$ ). Contudo, esperava-se encontrar maior EUA nas parcelas adubadas em decorrência do incremento de nutrientes, como descrito em outros trabalhos (Santos *et al.*, 2004; Yang *et al.*, 2011) assim como na estação seca, quando a disponibilidade hídrica torna-se reduzida.



**Figura 7.** Eficiência do uso da água (A); Eficiência intrínseca do uso da água (B) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* adubados e não adubados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).

Da mesma forma, valores mais elevados para a EIUA eram esperados nas parcelas fertilizadas, porém não foram encontradas diferenças significativas entre parcelas adubadas e não adubadas (ANOVA:  $F_{1,9} = 2,38$ ;  $p > 0,05$ ; Figura 7B) e entre as populações estudadas (ANOVA:

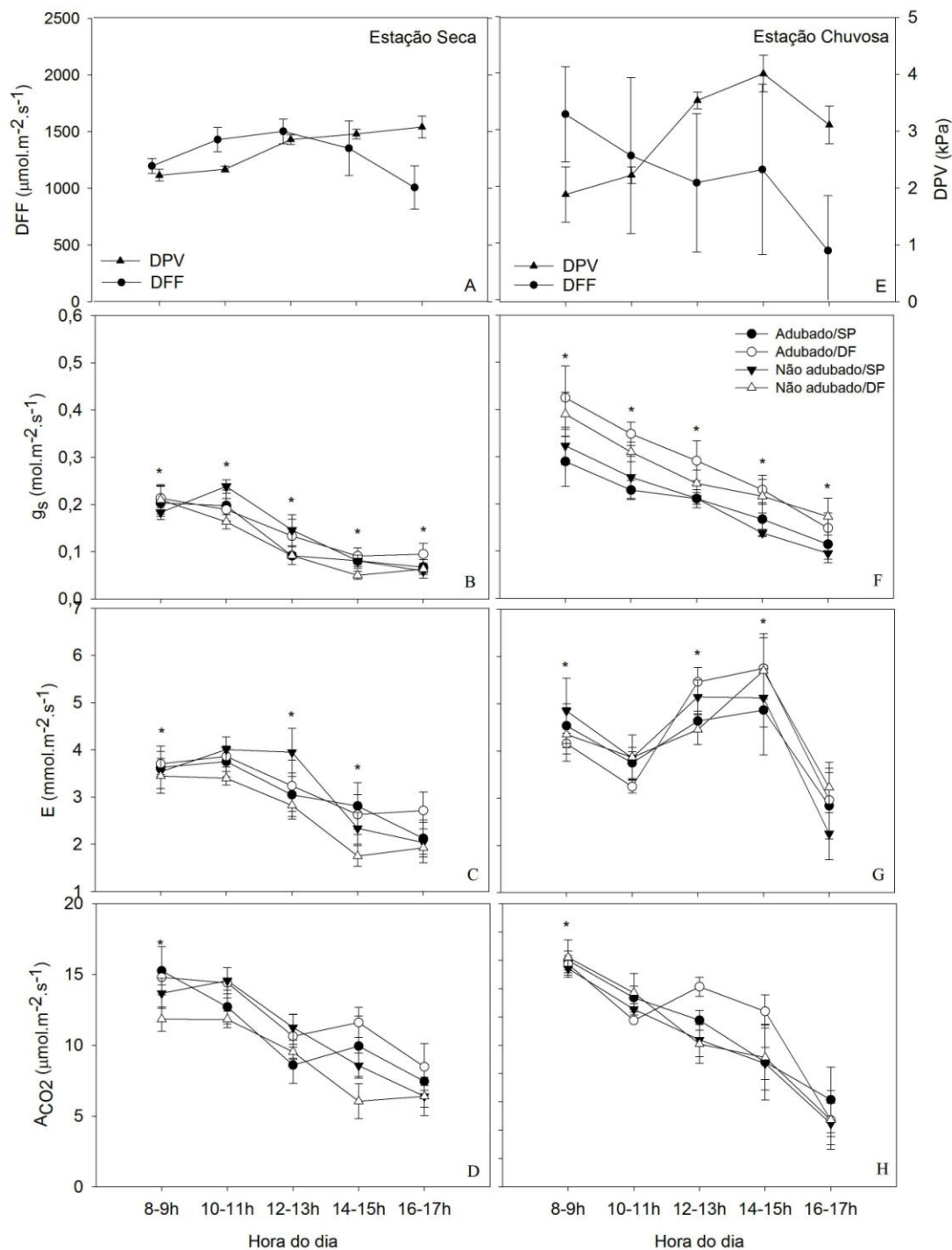


$F_{1,9} = 2,45$ ;  $p > 0,05$ ). Diferenças significativas foram detectadas apenas quando se comparou as estações seca e chuvosa (ANOVA:  $F_{1,12} = 22,76$ ;  $p < 0,001$ ). Este resultado se deve, possivelmente, ao fato de que a diferença dos valores de  $g_s$  entre as estações são, proporcionalmente, maiores do que a diferenças dos valores de  $E$  entre as mesmas estações, comprovando que a  $g_s$  é mais sensível ao DPV do que a  $E$  (Dufrene & Saugier, 1993; Passos *et al.*, 2005).

As curvas diárias de  $g_s$ ,  $E$  e  $A_{CO_2}$ , representadas na Figura 8, demonstraram que os resultados obtidos para as parcelas adubadas e não adubadas não diferiram entre si em nenhum dos intervalos de coleta, tanto na estação seca quanto na estação chuvosa, assim como na comparação entre os valores obtidos para as duas populações estudadas (ANOVA encontra-se no ANEXO VI). A abertura máxima dos estômatos ocorreu no período entre 8:00h e 11:00h quando a  $g_s$  atingiu seus valores máximos e, no decorrer do dia, verificou-se um decréscimo gradativo em ambas as estações. Essa clara redução da  $g_s$  que pode ser relacionada com o aumento do déficit de pressão de vapor de água na atmosfera (DPV; Figuras 8A e 8E). Além disso, os valores de  $g_s$  reduziram cerca de 50% quando  $\Psi_{med}$  atingiu valores entre -1,5 MPa e -2,0 MPa, em ambas as estações (Figura 4B).

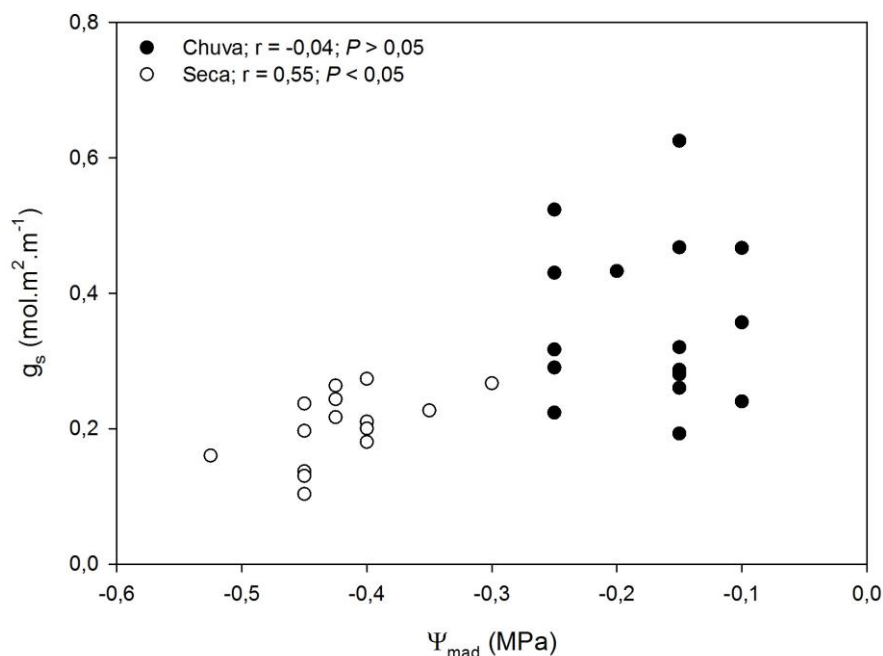
A redução da  $g_s$  no decorrer do dia causou um decréscimo da  $E$  na estação seca. No entanto, houve um aumento dos valores de  $E$  a partir das 12:00h na estação chuvosa, que atingiu os níveis mais altos entre 14:00h e 15:00h devido ao aumento acentuado do DPV. Já a queda da  $A_{CO_2}$  durante o dia, em ambas as estações, foi causada pelo decréscimo severo da  $g_s$  e também pela redução da DFF (Figura 8A e 8E), principalmente na estação chuvosa quando foi mais acentuada em virtude da grande quantidade de nuvens que se acumulou durante do dia. Curvas diárias com padrões muito semelhantes, onde houve um decréscimo dos valores de  $g_s$ ,  $E$ ,  $A_{CO_2}$  ao longo do dia, foram demonstradas em estudos realizados com palmeiras como *C nucifera* (Passos *et al.*, 2005; 2009) e *Bactris gasipaes* Kunth (Tucci *et al.*, 2010).

A variação diária dos valores de  $g_s$ ,  $A_{CO_2}$  e  $E$  podem ser explicados pelo aumento gradual do DPV no decorrer do dia. Mas, ao se comparar as diferenças encontradas entre as estações, é possível perceber que na estação seca os valores de DPV foram menores, em razão de temperaturas mais baixas, causando uma diminuição da  $E$ . Entretanto, esse menor DPV não explica a redução dos valores de  $g_s$  e  $A_{CO_2}$ . Portanto, o decréscimo de  $g_s$ , e conseqüentemente de  $A_{CO_2}$ , na estação seca podem ser atribuídos, principalmente, aos valores mais negativos do  $\Psi_{mad}$ .



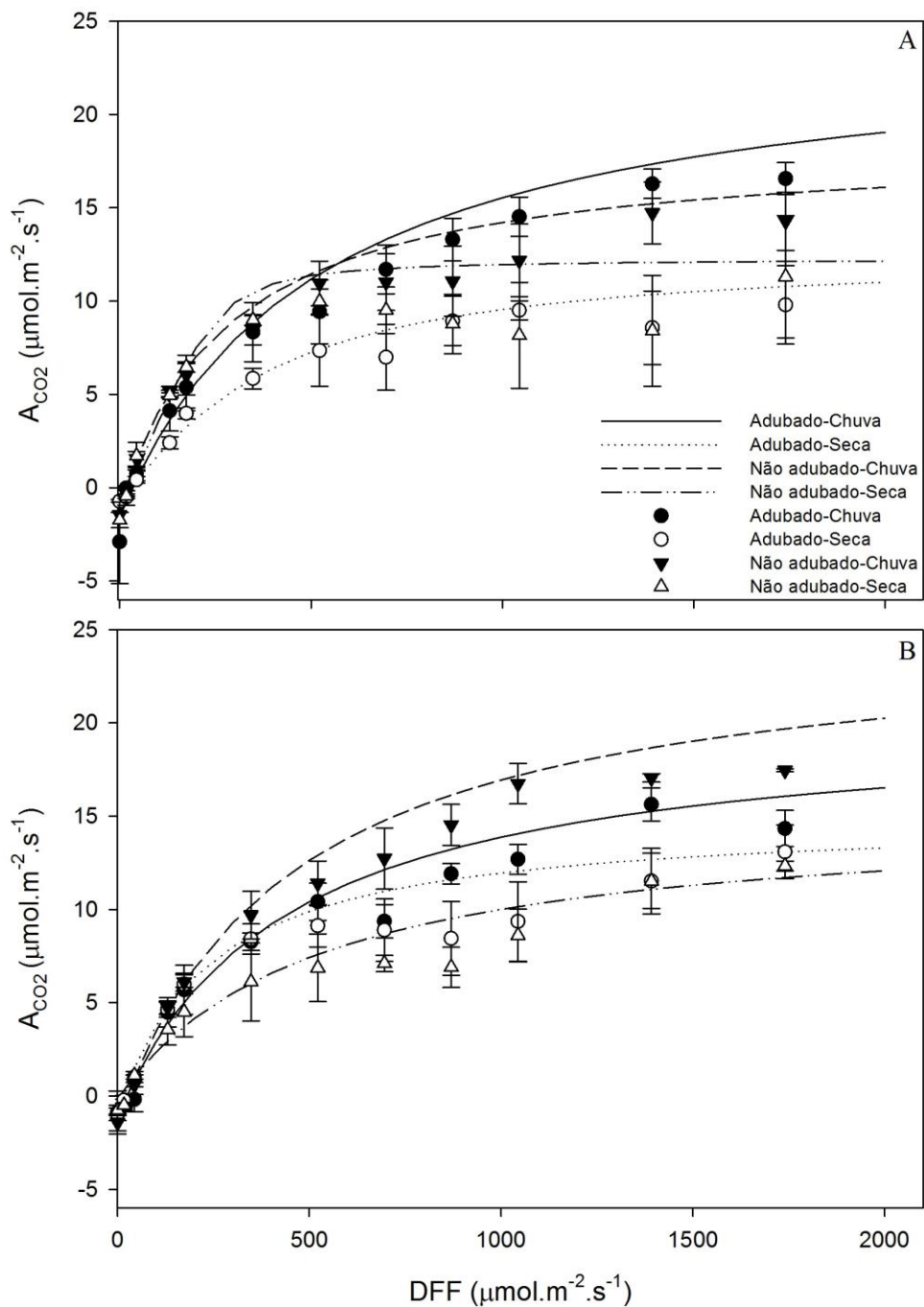
**Figura 8.** Curvas diárias realizadas nas estações seca e chuvosa. A e E - Densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFF) e déficit de pressão de vapor de água atmosférico (DPV); B e F - Condutância estomática ( $g_s$ ); C e G - Transpiração foliar (E); D e H - Assimilação de  $CO_2$  ( $A_{CO_2}$ ). Os \* indicam diferenças estatísticas significativas entre as estações, comparando-se o mesmo horário de coleta (ANOVA encontra-se no ANEXO VI). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).

A influência do  $\Psi_{\text{mad}}$  sobre a  $g_s$  é confirmada pela correlação foi significativa na estação seca, quando o controle estomático é maior (Figura 9). Esse resultado indica que a recuperação do turgor celular pela planta durante a madrugada é menor na estação seca e influencia a abertura estomática, mesmo em condições de DPV mais favoráveis a abertura dos estômatos e antes dos valores mínimos do  $\Psi_{\text{med}}$  serem alcançados.



**Figura 9.** Correlação entre condutância estomática ( $g_s$ ) e potencial hídrico da madrugada ( $\Psi_{\text{mad}}$ ) nas estações seca e chuvosa para indivíduos de *Acrocomia aculeata* adubados e não adubados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF).

A análise de comparação das curvas de resposta à luz entre estações, parcelas adubadas e não adubadas e populações não revelaram diferenças significativas para os valores ajustados pela equação da hipérbole não retangular de assimilação máxima de  $\text{CO}_2$  ( $A_{\text{max}}$ ), de respiração mitocondrial ( $R_d$ ), de rendimento quântico ( $\alpha$ ) e da convexidade da curva ( $\xi$ ), assim como para os valores reais de assimilação máxima de  $\text{CO}_2$  coletados no campo ( $A_{\text{maxreal}}$ ) e de respiração mitocondrial ( $R_{d\text{real}}$ ) (Figura 10; ANOVA encontra-se no ANEXO VII). No entanto, uma forte tendência dos valores de  $A_{\text{max}}$  e  $A_{\text{maxreal}}$  serem mais elevados na estação chuvosa pode ser observada, como demonstrado na Tabela 1.



**Figura 10.** Curvas de resposta à luz para indivíduos de *Acrocomia aculeata* adubados e não adubados provenientes de São Paulo (A) e do Distrito Federal (B) durante as estações seca e chuvosa. Os símbolos representam os valores máximos reais de  $A_{CO_2}$  para diferentes DFF e as linhas representam os mesmos valores ajustados pela equação da hipérbole não retangular. As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).

Os níveis aparentemente mais altos de  $A_{\max}$  e  $A_{\max\text{real}}$  encontrados na estação chuvosa podem ser reflexos da maior eficiência da utilização da luz e indicam que a regeneração da ribulose-1,5-bisfosfato (RuBP) ocorreu em níveis mais altos de densidades de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFF) (Ögren, 1993; Scalona, 1999). Em um estudo realizado com variedades de *C. nucifera*, Gomes *et al.* (2008) descreveu um padrão semelhante para  $A_{\max}$  sob condições de déficit hídrico. Entretanto, o autor também verificou que houve uma redução de  $R_d$  e de  $\alpha$  durante a estação seca, o que difere da *A. aculeata*.

Esperava-se encontrar valores mais altos de  $A_{\max}$ ,  $A_{\max\text{real}}$ ,  $R_d$  e  $\alpha$  e valores reduzidos de  $\xi$  nos exemplares adubados em decorrência da maior disponibilidade de nutrientes, principalmente de N, que permitiria o aumento do investimento em tecidos fotossintéticos (Wright *et al.*, 2001; Posada *et al.*, 2009; Daymond *et al.*, 2011). No entanto, as semelhanças encontradas entre as parcelas adubadas e as não adubadas podem ser reflexo das concentrações foliares de N e P que não diferiram entre os tratamentos (Figura 14).

**Tabela 1.** Parâmetros ecofisiológicos estimados a partir de curvas de resposta à luz e ajustados pela equação da hipérbole não retangular (Ögren, 1993) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* adubados e não adubados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF) durante as estações seca e chuvosa. O erro padrão encontra-se entre parênteses.

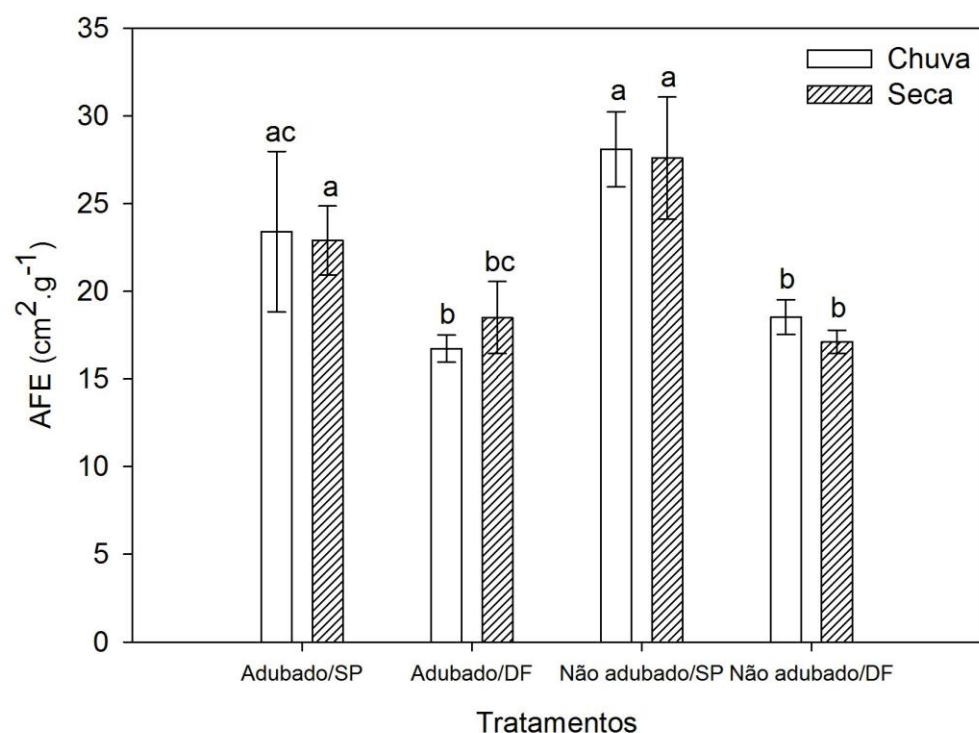
Estações	Tratamentos	$R_d$	$R_{d\text{real}}$	$A_{\max}$	$A_{\max\text{real}}$	$\alpha$	$\xi$
Chuva	Adubado/SP	-1,99(±1,24)	-0,72(±0,16)	22,05(±1,85)	16,57(±0,85)	0,06(±0,02)	0,47(±0,17)
	Adubado/DF	-1,23(±0,73)	-1,84(±0,68)	20,65(±1,49)	14,34(±0,97)	0,06(±0,02)	0,38(±0,08)
	Não adubado/SP	-1,09(±0,53)	-1,46(±0,68)	17,74(±1,95)	14,28(±1,56)	0,06(±0,2)	0,46(±0,10)
	Não adubado/DF	-1,20(±0,43)	-1,42(±0,45)	24,21(±2,42)	17,46(±0,08)	0,05(±0,01)	0,38(±0,08)
		<b>-1,38(±0,20)</b>	<b>-1,36(±0,23)</b>	<b>21,16(±1,35)</b>	<b>15,66(±0,80)</b>	<b>0,057(±0,00)</b>	<b>0,42(±0,02)</b>
Seca	Adubado/SP	-0,71(±0,35)	-0,89(±0,07)	12,41(±2,96)	10,00(±1,50)	0,03(±0,01)	0,58(±0,26)
	Adubado/DF	-1,01(±0,33)	-0,97(±0,34)	14,62(±3,51)	13,09(±1,44)	0,05(±0,01)	0,34(±0,28)
	Não adubado/SP	-0,75(±0,18)	-1,74(±0,41)	13,90(±2,96)	11,30(±3,28)	0,05(±0,00)	0,66(±0,28)
	Não adubado/DF	-1,12(±0,22)	-0,77(±0,28)	13,30(±1,02)	12,33(±0,26)	0,05(±0,02)	0,77(±0,10)
		<b>-0,90(±0,10)</b>	<b>-1,09(±0,22)</b>	<b>13,55(±0,47)</b>	<b>11,68(±0,67)</b>	<b>0,04(±0,00)</b>	<b>0,59(±0,09)</b>

### 3.2. Área foliar específica e produção de folhas

A análise estatística revelou que houve diferenças significativas apenas quando se comparou a origem das populações (ANOVA:  $F_{1,9} = 17,92$ ;  $p < 0,01$ ), não havendo influências da estação (ANOVA:  $F_{1,12} = 0,03$ ;  $p > 0,05$ ) e da adubação (ANOVA:  $F_{1,9} = 1,79$ ;  $p > 0,05$ ) nos

resultados obtidos para AFE. Os maiores valores foram encontrados para a população proveniente do Estado de São Paulo, no entanto, não houve reflexos significativos na  $A_{CO_2}$  entre as populações.

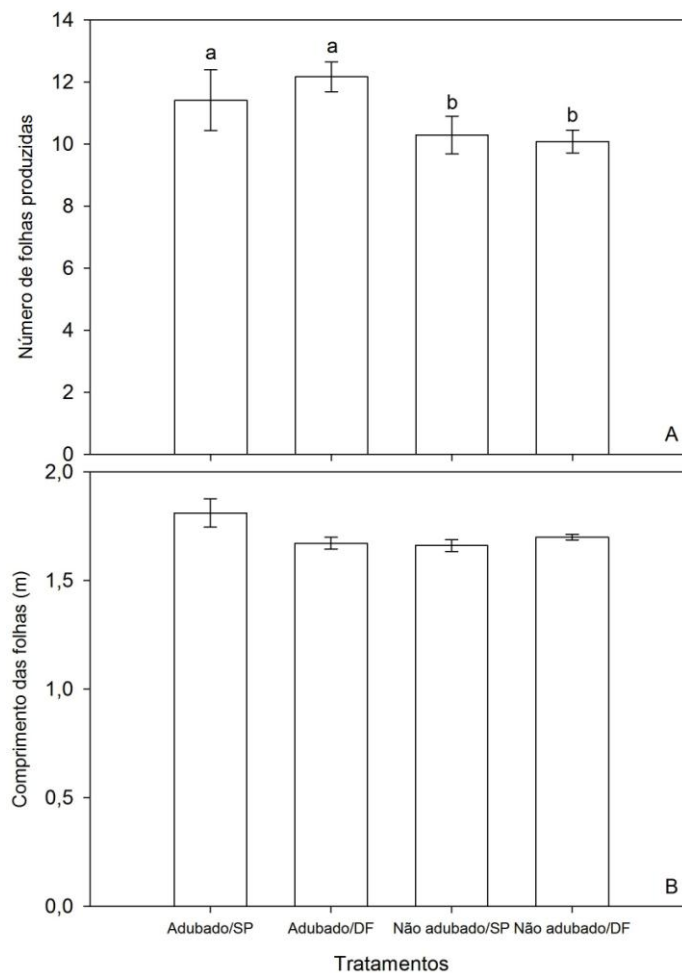
Esperava-se encontrar maiores valores de AFE para as parcelas adubadas durante a estação das chuvas, como os resultados obtidos em diversos trabalhos onde se demonstrou que a AFE é maior quando a disponibilidade de água e nutrientes aumenta (Wright *et al.*, 2001; Prior *et al.*, 2004; Franco *et al.*, 2005). Contudo, assim como em *A. aculeata*, outros estudos também verificaram que não houve nenhum efeito da adubação sobre a AFE e que a relação entre disponibilidade de nutrientes e AFE pode variar de entre espécies ou grupos funcionais (Saraceno, 2006; Chen *et al.*, 2011).



**Figura 11.** Área foliar específica para indivíduos de *Acrocomia aculeata* adubados e não adubados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).

A produção média de folhas no período de setembro de 2009 a outubro de 2010 foi estimada em 11,8 (Erro padrão da média = 1,4) para as parcelas adubadas e em 10,2 (Erro padrão da média = 0,9) para as não adubadas, sendo estas diferenças estatisticamente significativas (ANOVA:  $F_{1,12} = 6,74$ ;  $p < 0,05$ ), sem que houvesse diferenças entre as populações

estudadas (ANOVA:  $F_{1,12} = 0,19$ ;  $p > 0,05$ ; Figura 12A). Assim como encontrado por outros autores, era esperado que houvesse maior produção de folhas em consequência da adubação (Sagrilo *et al.*, 2006; Allen *et al.*, 2010). Portanto, o efeito da adubação na produtividade dos exemplares de *A. aculeata* se refletiu não em termos de medidas instantâneas de trocas gasosas foliares, mas no número de folhas produzidas em longo prazo.



**Figura 12.** Número de folhas produzidas de setembro de 2009 a outubro de 2010 (A); Comprimento das folhas (B) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* adubados e não adubados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).

A produtividade de folhas para *A. aculeata* durante este período foi maior do que a estimada para as palmeiras *Euterpe edulis* Mart., cerca de 2, 2 folhas/ano (De Carvalho *et al.*, 1999), *Socretia durissima* (Oerst.) Wendl.(dossel e subdossel) e *Astrocaryum standleyanum* L. H. Bailey (subdossel), cerca de 2,7 e 3,8 folhas/ ano respectivamente (De Steven *et al.*, 1987),

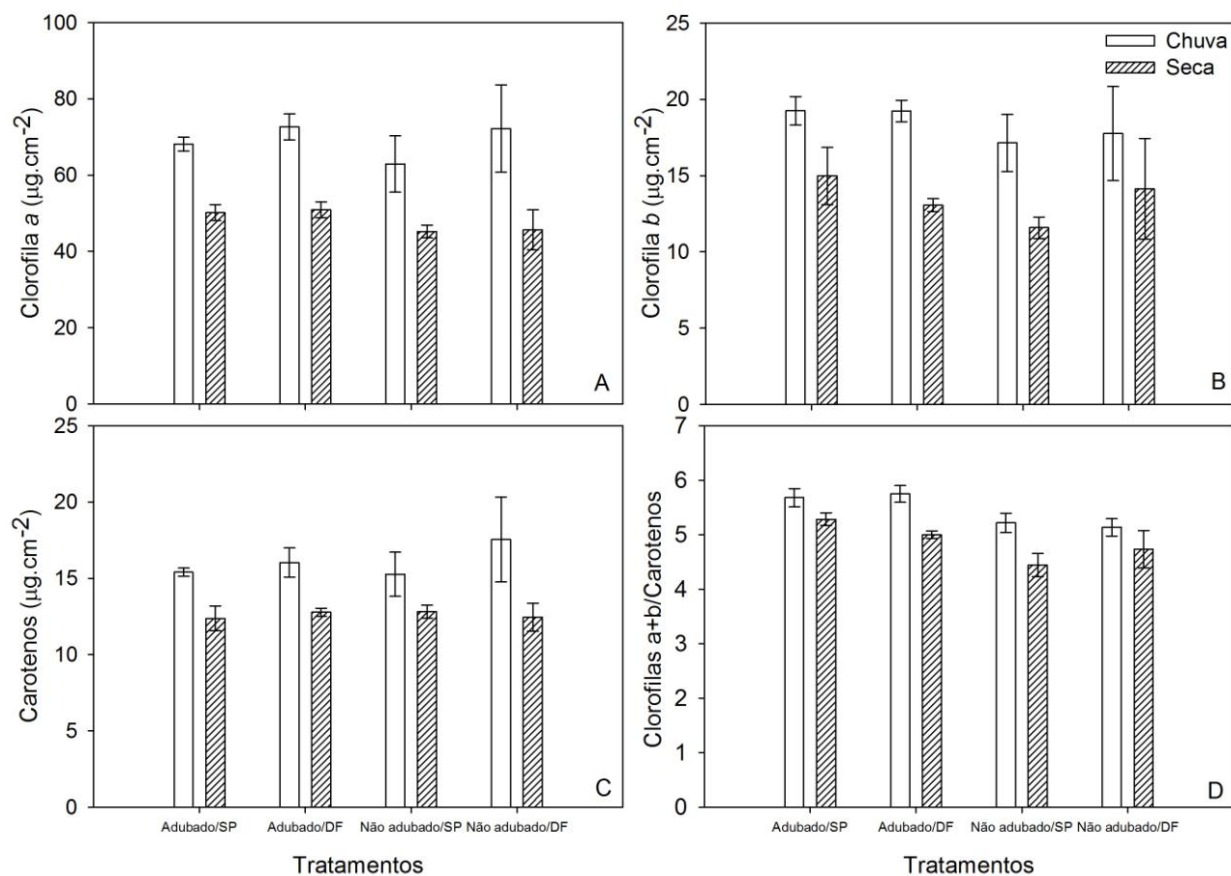
mesmo comparando-se as parcelas não adubadas com estes estudos onde não houve fertilização. Todavia, no último trabalho citado também foram encontrados valores semelhantes aos da *A. aculeata* para *Cryosophila warsewiczii* (subdossel), entre 11 e 13 folhas/ano, crescendo em condições naturais.

As diferenças entre os tratamentos para as medidas do comprimento das folhas variaram entre 1,7 e 1,8m e, segundo as análises estatísticas, não foram significativas diferentes entre parcelas adubadas e não adubadas (ANOVA:  $F_{1,12} = 2,37$ ;  $p > 0,05$ ) e entre as origens das populações (ANOVA:  $F_{1,12} = 1,61$ ;  $p > 0,05$ ; Figura 12B). Contudo, assim como para o número de folhas produzidas, esperava-se que as parcelas adubadas apresentassem folhas com maior comprimento em relação às não adubadas.

### 3.3. Pigmentos fotossintéticos

As análises de variâncias para os dados de pigmentos fotossintéticos revelaram que os teores mais altos de clorofila *a* (ANOVA:  $F_{1,12} = 23,35$ ;  $p < 0,01$ ), clorofila *b* (ANOVA:  $F_{1,12} = 9,91$ ;  $p < 0,01$ ) e de carotenos (ANOVA:  $F_{1,12} = 11,02$ ;  $p < 0,01$ ) foram encontrados na estação chuvosa, não havendo diferenças entre parcelas adubadas e não adubadas e entre as populações estudadas (ANOVA's encontram-se no ANEXO VIII). A razão entre clorofilas totais e carotenos foi maior nas parcelas adubadas (ANOVA:  $F_{1,9} = 20,89$ ;  $p < 0,01$ ), assim como na estação chuvosa (ANOVA:  $F_{1,12} = 15,54$ ;  $p < 0,01$ ), indicando ter ocorrido um aumento do conteúdo de carotenos em relação às clorofilas durante a estação seca em decorrência do déficit hídrico (Rahman *et al.*, 2004; Carvalho *et al.*, 2007). Não houve diferenças significativas para a razão clorofilas/carotenos quando os dados foram comparados em relação à origem dos exemplares de *A. aculeata* (ANOVA:  $F_{1,12} = 0,00$ ;  $p > 0,05$ ). Embora os resultados obtidos através das ANOVA's apresentem diferenças significativas, o Teste HSD de Tukey não revelou tais diferenças entre os tratamentos para todos os parâmetros, como mostra a Figura 13.





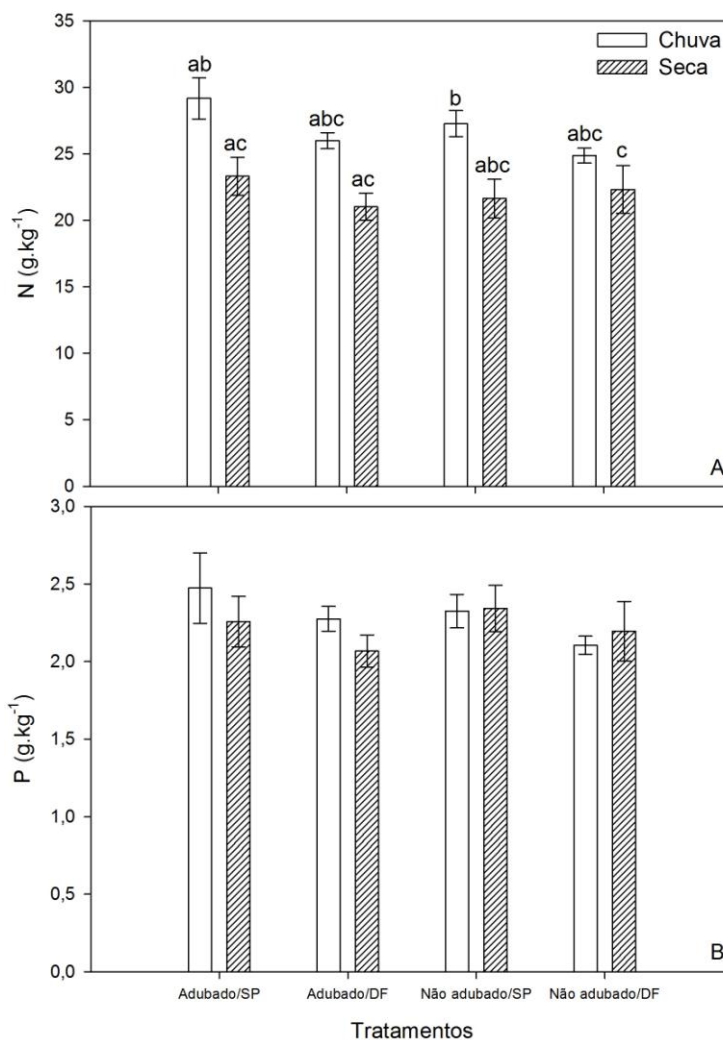
**Figura 13.** Concentração foliar de pigmentos: Clorofila *a* (A); Clorofila *b* (B); Carotenos (C); Razão Clorofilas *a+b*/Carotenos (D) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* adubados e não adubados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).

Os resultados encontrados em relação à sazonalidade das chuvas foram coerentes com a maior  $A_{CO_2}$  e as maiores concentrações de N foliares encontrados na temporada das chuvas. Outros estudos demonstraram que períodos prolongados de déficit hídrico podem causar decréscimos nos teores de clorofilas e de carotenos e diminuir a razão entre os mesmos (Rahman *et al.*, 2004; Carvalho *et al.*, 2007; Pompelli *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2011).

No entanto, era esperado que o maior suprimento de nutrientes, principalmente de N, se refletisse em níveis mais altos de pigmentos fotossintéticos nas parcelas adubadas. Da mesma forma que ocorreu com a razão entre clorofilas totais e carotenos, e como encontrado em estudos onde tratamentos de adubação nitrogenada foram utilizados (Pompelli *et al.*, 2010; Yong *et al.*, 2010).

### 3.4. Macro e micronutrientes

As concentrações foliares de N foram significativamente mais altas na estação chuvosa (ANOVA:  $F_{1,12} = 30,17; p < 0,01$ ). No entanto, contrariando as expectativas, os teores foliares de N não diferiram significativamente entre parcelas adubadas e não adubadas (ANOVA:  $F_{1,9} = 1,04; p > 0,05$ ). Também não foram detectadas diferenças significativas entre as populações (ANOVA:  $F_{1,9} = 4,69; p > 0,05$ ; Figura 14A).

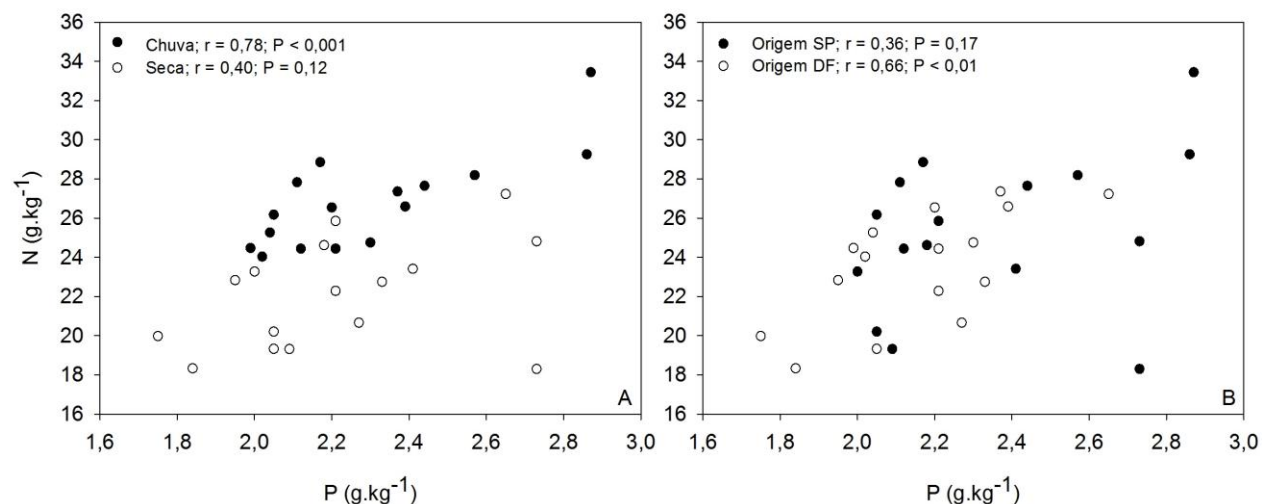


**Figura 14.** Concentrações foliares de Nitrogênio (A) e Fósforo (B) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* adubados e não adubados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF) nas estações seca e chuvosa. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).

As análises ainda revelaram que as concentrações foliares de P não foram influenciadas pelos fatores de variação avaliados (Estação: ANOVA:  $F_{1,12} = 0,94$ ; Adubação: ANOVA:  $F_{1,9} = 0,09$ ; Origem: ANOVA:  $F_{1,9} = 4,44$ ;  $p > 0,05$ ; Figura 14B). No entanto, esperava-se encontrar níveis mais altos de P em parcelas adubadas durante a estação chuvosa.

Autores que investigaram o efeito da sazonalidade das chuvas nos teores foliares de N e P em condições naturais encontraram um aumento significativo destes durante a estação chuvosa (Wright *et al.*, 2001; Araújo & Haridasan, 2007; Carvalho *et al.*, 2007), portanto esperava-se que o efeito da maior quantidade de água no solo fosse amplificado com a adição de N e P e se refletisse em maior  $A_{CO_2}$  nas parcelas adubadas.

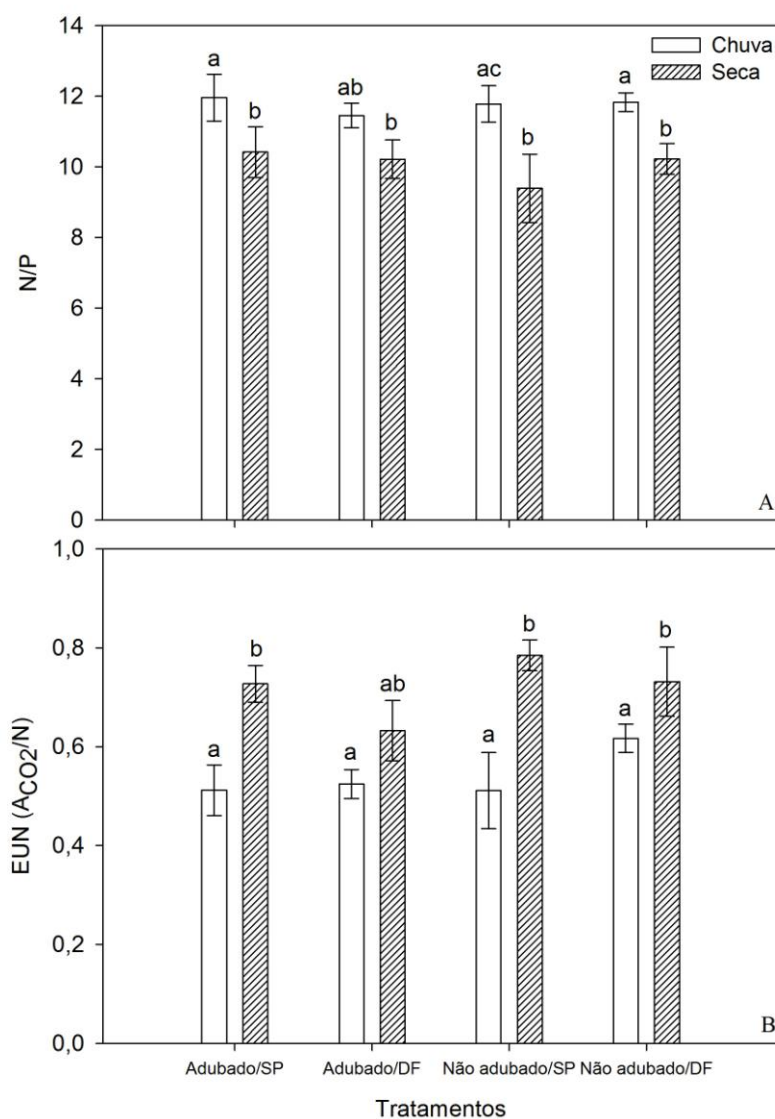
Muitos estudos demonstraram que existe uma correlação positiva entre N e P (Wright *et al.*, 2001; Prior *et al.*, 2004; Franco *et al.*, 2005; Araújo & Haridasan, 2007). No entanto, fatores como a disponibilidade hídrica e a capacidade de cada espécie de absorver ou acumular determinado nutriente pode afetar esta relação. Em *A. aculeata*, isso é demonstrado quando se verifica que a correlação entre N e P foi positiva e significativa apenas na estação chuvosa (Figura 15A) e para a população proveniente do Distrito Federal (Figura 15B).



**Figura 15.** Correlação entre concentrações foliares de nitrogênio (N) e fósforo (P) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* adubados e não adubados, valores agrupados por estação (A) e por população (B).

As razões N/P apresentaram diferenças significativas entre as estações seca e chuvosa (ANOVA:  $F_{1,12} = 16,38$ ;  $p < 0,001$ ), entretanto, não houve uma influência clara dos fatores

adubação (ANOVA:  $F_{1,9} = 0,28$ ;  $p > 0,05$ ) e origem das populações (ANOVA:  $F_{1,9} = 0,01$ ;  $p > 0,05$ ) sobre os resultados (Figura 16A).



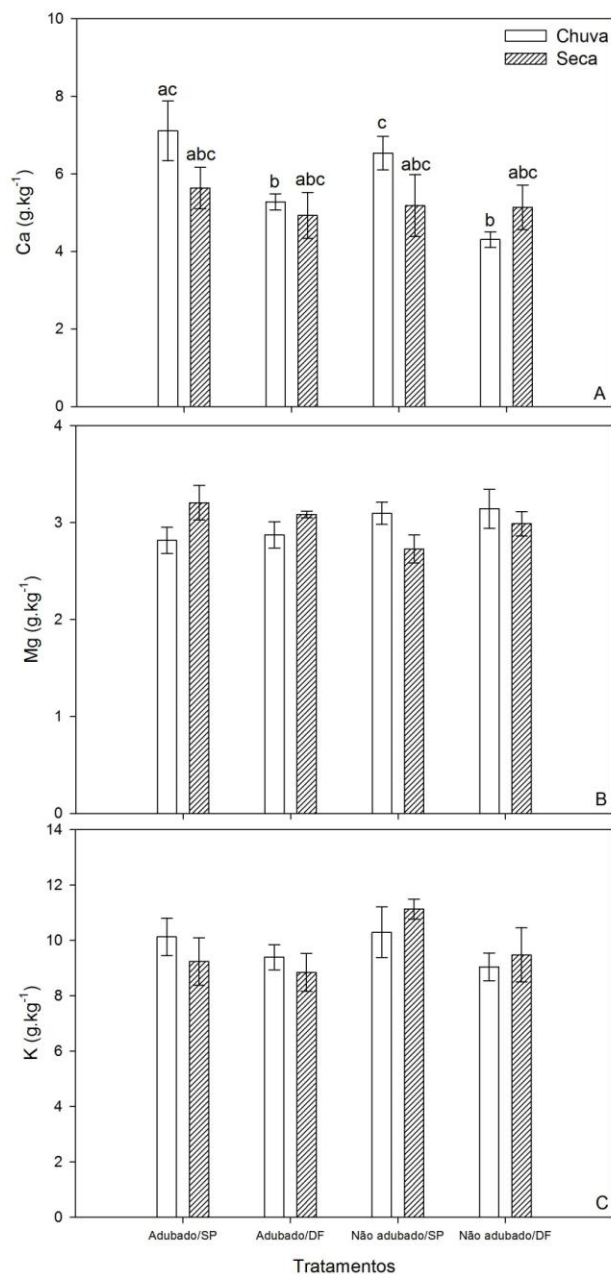
**Figura 16.** Razão entre N e P (A) e eficiência do uso de N (B) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* adubados e não adubados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF) nas estações seca e chuvosa. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).

Os valores médios encontrados para a razão N/P foram de 11,8 (Erro padrão da média = 0,42) no período de chuvas e de 10,0 (Erro padrão da média = 0,63) no período de seca. Segundo Aerts & Chapin (2000), razões menores que 14 indicam limitações nutricionais por N, entretanto, tanto as parcelas adubadas quanto as parcelas não adubadas apresentaram valores inferiores a 14. Além disso, foram encontrados para *A. aculeata* teores de N entre 24,0 e 33,4  $\text{g.kg}^{-1}$ , na estação

chuvosa, e entre 18,3 e 27,2 g.kg<sup>-1</sup>, na estação seca, valores superiores aos encontrados em outros trabalhos realizados com palmeiras, como em *C. nucifera*, que variaram de 17,0 a 20,5 g.kg<sup>-1</sup> (Teixeira *et al.*, 2005) ou *Rhapis excelsa* (Thunberg) Henry ex. Rehder, variação de 17,8 a 18,3 g kg<sup>-1</sup> (Alves *et al.*, 2010).

A EUN pode auxiliar na compreensão das respostas das plantas submetidas a diferentes níveis de disponibilidade de N no solo (Figura 16B). Segundo as análises, não foram encontradas diferenças significativas quando se comparou os valores de EUN entre parcelas adubadas e não adubadas (ANOVA:  $F_{1,9} = 3,13$ ;  $p > 0,05$ ) e entre as populações (ANOVA:  $F_{1,9} = 0,04$ ;  $p > 0,05$ ). No entanto, as análises revelaram que a EUN foi maior na estação seca (ANOVA:  $F_{1,12} = 20,67$ ;  $p < 0,01$ ), período em que o teor de N disponível no solo diminuiu, resultados semelhante também foram encontrados por outros autores (Hirose & Bazzaz, 1998; Illenseer & Paulilo, 2002; Nardoto *et al.*, 2006).

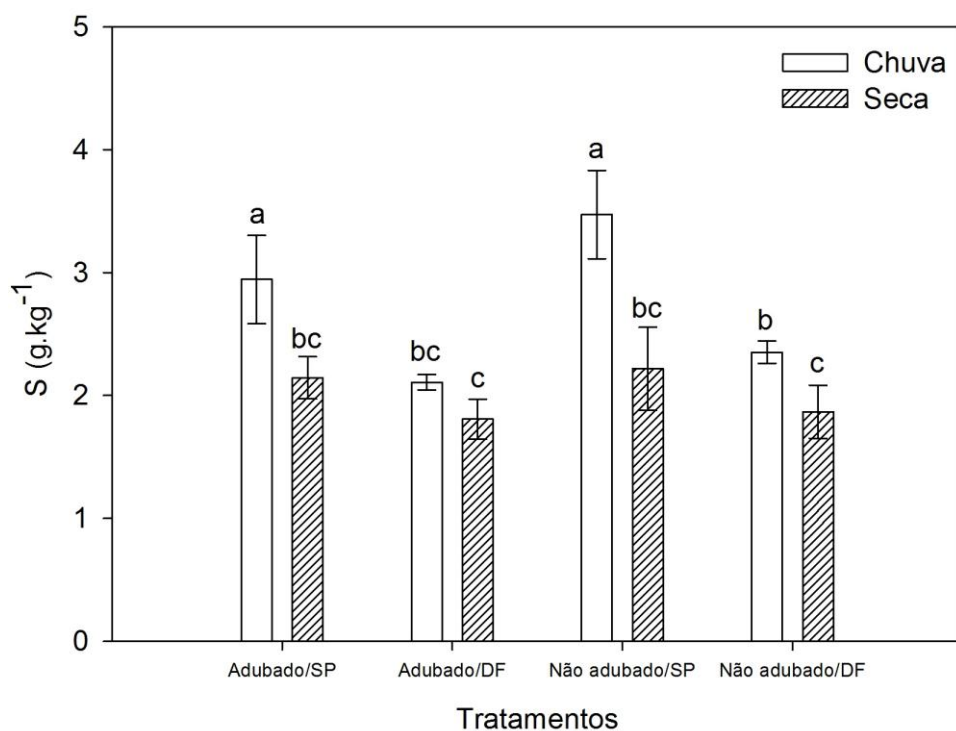
A sazonalidade das chuvas e a adubação não influenciaram significativamente as concentrações foliares dos macronutrientes Ca, Mg e K e, com exceção do Ca que apresentou concentrações superiores para a população de São Paulo, a origem das populações também não influenciou significativamente os resultados (ANOVA encontra-se no ANEXO IX; Figura 17). Estudos relataram que há uma relação de competição entre esses íons na solução do solo que pode interferir na absorção dos mesmos pela planta, o aumento dos níveis de Ca e Mg reduz o teor de K na matéria seca da parte aérea (Marschner, 1993; Moreira *et al.*, 2005), portanto esperava-se encontrar níveis mais altos de Ca e Mg e mais baixos de K nas folhas de *A. aculeata* na estação chuvosa, período em que ocorreu a aplicação de fertilizantes.



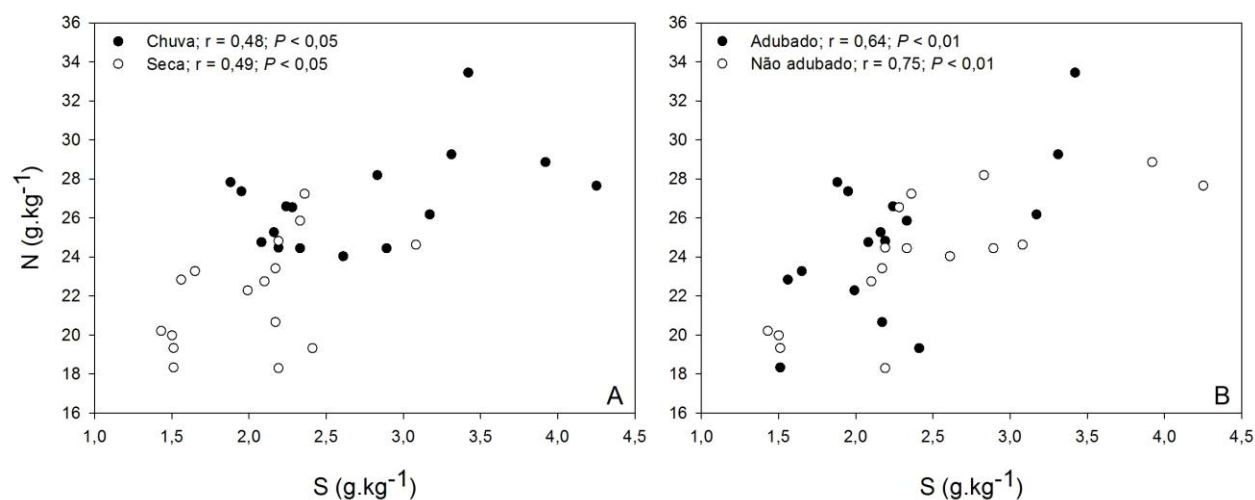
**Figura 17.** Concentrações foliares dos macronutrientes Cálcio (A), Potássio (B) e Fósforo (C) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* adubados e não adubados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF) nas estações seca e chuvosa. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).

As análises dos teores foliares de S (Figura 18) revelaram valores mais altos na estação chuvosa (ANOVA:  $F_{1,12} = 12,83$ ;  $p < 0,01$ ) e para a população originada de São Paulo (ANOVA:  $F_{1,9} = 43,73$ ;  $p < 0,01$ ). Entretanto, não houve diferenças significativas entre os tratamentos de adubação ANOVA:  $F_{1,9} = 4,29$ ;  $p > 0,05$ ). Foram encontradas correlações positivas e significativas

entre as concentrações foliares de N e S, tanto na estação chuvosa quanto na seca (Figura 19A), assim como, nas parcelas adubadas e não adubadas (Figura 19B). Esses resultados eram esperados, pois o metabolismo desses elementos está intimamente relacionado, suas assimilações são bem coordenadas e a deficiência de um pode reprimir a assimilação do outro (Epstein & Bloom, 2006; Carfagna *et al.*, 2011).



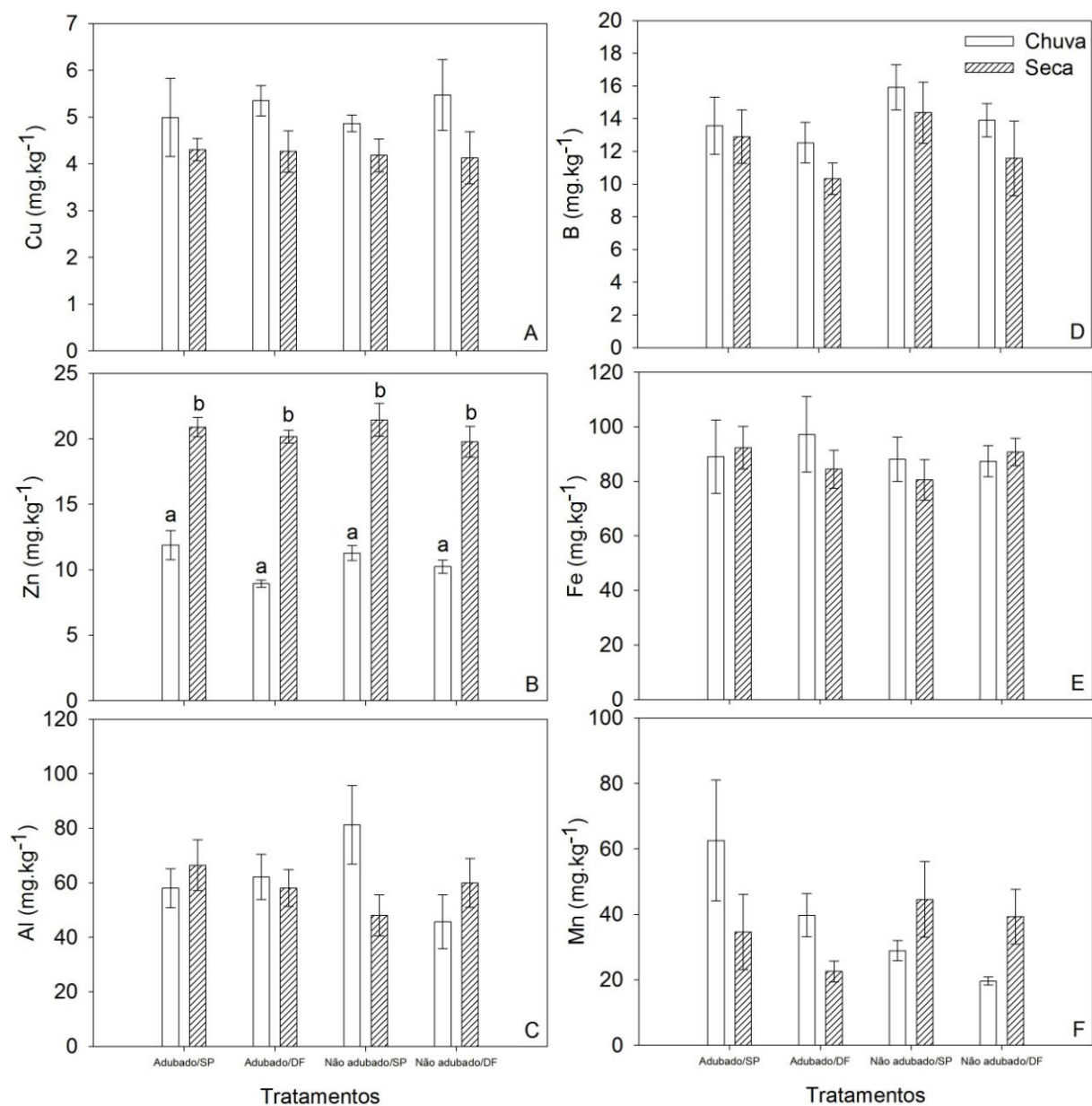
**Figura 18.** Concentrações foliares do macronutriente enxofre (S) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* adubados e não adubados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF) nas estações seca e chuvosa. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).



**Figura 19.** Correlação entre concentrações foliares de nitrogênio (N) e enxofre (S) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* adubados e não adubados, valores agrupados por estação (A) e por tratamento de adubação (B).

As análises das concentrações foliares de micronutrientes e de Al revelaram que a sazonalidade das chuvas influenciou significativamente apenas os níveis de Cu e Zn, sendo as concentrações de Cu mais altas no período de chuvas e as de Zn maiores na seca. Não foram encontradas diferenças significativas entre parcelas adubadas e não adubadas para nenhum dos micronutrientes e, com exceção do Zn, não foram encontradas diferenças entre populações (ANOVA's encontram-se no ANEXO X; Figura 20). Possivelmente, a absorção dos micronutrientes pelas plantas tenha sido reduzida pelo efeito da correção da acidez do solo e da aplicação de fertilizantes químicos compostos por superfosfato simples durante o período chuvoso (Maschner, 1993).





**Figura 20.** Concentrações foliares de cobre (A), zinco (B), alumínio (C), boro (D), ferro (E) e manganês (F) para indivíduos de *Acrocomia aculeata* adubados e não adubados provenientes de São Paulo (SP) e do Distrito Federal (DF). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, segundo teste HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). As barras representam o erro padrão ( $n=4$ ).

#### 4. Conclusões

As trocas gasosas foliares e as condições de hidratação, principalmente da madrugada, foram fortemente influenciados pela sazonalidade das chuvas. As principais diferenças encontradas estão nas respostas ecofisiológicas relacionados à produtividade primária, como a  $A_{CO_2}$ , maior na estação chuvosa, e a EIUA e a EUN, que atingiram valores mais elevados na estação seca. No entanto, o efeito da adição de fertilizantes foi detectado apenas quando se avaliou o número médio de folhas produzidas dentro de um determinado período de tempo, sendo maior nas parcelas adubadas.

O fator origem das plantas exerceu uma forte influência na AFE e nas concentrações dos nutrientes Ca, S e Zn, que foram maiores para a população originada na região de São Paulo. As concentrações foliares do N, S, Cu e Zn foram influenciadas pela sazonalidade das chuvas. Não foi detectado nenhum efeito da adubação sobre as concentrações foliares dos elementos apresentados e sobre o metabolismo fotossintético da *A. aculeata*, portanto, conclui-se que fatores endógenos são possivelmente mais determinantes na resposta aos diferentes níveis de nutrientes no solo do que o aumento da disponibilidade dos mesmos.

#### 5. Referências Bibliográficas

Aerts R. & Chapin F.S. (2000) The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns. *Advances in Ecological Research*, **30**: 1-67.

Allen M.F., Allen E.B., Lansing J.L., Pregitzer K.S., Hendrick R.L., Ruess R.W., Collins S.L. (2010) Responses to chronic N fertilization of ectomycorrhizal piñon but not arbuscular mycorrhizal juniper in a piñon-juniper woodland. *Journal of Arid Environments*, **74**: 1170-1176.

Alves F.S., Jasmim J.M., Carvalho A.J.C, Thiébaud J.T.L. (2010) Qualidade e teores de nutrientes de palmeira-rápis em substrato com fibra de coco. *Horticultura Brasileira* **28**:91-96.

Anten N.P.R., Werger M.J.A., Medina E. (1998) Nitrogen distribution and leaf area indices in relation to photosynthetic nitrogen use efficiency in savanna grasses. *Plant Ecology*, **138**: 63-75.

Araújo J.F. & Haridasan M. (2007) Relação entre deciduidade e concentrações foliares de nutrientes em espécies lenhosas do cerrado. *Revista Brasileira de Botânica*, **30**(3): 533-542.

Araus J.L. & Hogan K.P. (1994) Leaf structure and patterns of photoinhibition in two neotropical palms in clearings and forest understory during the dry season. *American Journal of Botany*, **81**(6): 726-738.

Bandeira F.S. (2008) Cultivo in vitro e embriogênese somática de embriões zigóticos de macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Loddiges) Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa – Viçosa – MG.

Bucci S.J., Scholz F.G., Goldstein G., Meinzer F.C., Franco A.C., Campanello P.I., Villalobos-Vega R., M. Bustamante, Miralles-Wilhelm F. (2006) Nutrient availability constrains the hydraulic architecture and water relations of savannah trees. *Plant, Cell and Environment*, **29**: 2153-2167.

Calbo M.E.R. & Moraes J.A.P.V. (2000) Efeitos da deficiência de água em plantas de *Euterpe oleracea* (açai). *Revista Brasileira de Botânica*, **23**: 225-230.

Carfagna S., Vona V., Di Martino V., Esposito S., Rigano C. (2011) Nitrogen assimilation and cysteine biosynthesis in barley: Evidence for root sulphur assimilation upon recovery from N deprivation. *Environmental and Experimental Botany*, **71**: 18-24.

Carvalho A. P.F., Bustamante M.M.C., Kozovits A.R., Asner G.P. (2007) Variações sazonais nas concentrações de pigmentos e nutrientes em folhas de espécies de cerrado com diferentes estratégias fenológicas. *Revista Brasileira de Botânica*, **30**(1): 19-27.

Chen F-S., Niklas K.J., Zeng D-H. (2011) Important foliar traits depend on species-grouping: analysis of a remnant temperate forest at the Keerqin Sandy Lands, China. *Plant Soil*, **340**:337-345.

Daymond A.J., Tricker P.J., Hadley P. (2011) Genotypic variation in photosynthesis in cacao is correlated with stomatal conductance and leaf nitrogen. *Biologia Plantarum*, **55**(1): 99-104.

De Carvalho R. M., Martins F.R., Santos F.A.M. (1999) Leaf Ecology of Pre-reproductive Ontogenetic Stages of the Palm Tree *Euterpe edulis* Mart. (Arecaceae). *Annals of Botany*, **83**: 225-233.

De Steven D., Windsor D.M., Putz F.E., Source B.L. (1987) Vegetative and Reproductive Phenologies of a Palm Assemblage in Panama. *Biotropica*, **4**(19): 342-356.

Dufrene E. & Saugier B. (1993) Gás exchange of oil palm in relation to light, vapour pressure déficit, temperature and leaf age. *Functional Ecology*, **7**: 97-104.

Eamus D., Myers B., Duff G., Williams D. (1999) Seasonal changes in photosynthesis of eight savanna tree species. *Tree Physiology*, **19**: 665-671.

Embrapa (1999) Centro Nacional de Pesquisa de Solo (Rio de Janeiro, RJ). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, RJ. 412p.

Embrapa (2005) *Manual de laboratórios: solo, água, nutrição animal e alimentos* (Nogueira A.R.A., Souza G.B., eds.). Embrapa Pecuária Sudeste. São Carlos, SP. 313p.

Epstein E. & Bloom A.J. (2006) *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas*. Londrina. Ed. Planta. 2ª Ed. 403p.

Elser J.J., Bracken M.E.S., Cleland E.E., Gruner D. S., Harpole W. S., Hillebrand H., Ngai J.T., Seabloom E.W., Shurin J.B., Smith J.E. (2007) Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, **10**: 1135–1142.

Evans J.R. (1989) Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C<sub>3</sub> plants. *Oecologia*, **78**: 9-19.

Franco A.C.; Bustamante M., Caldas L.S., Goldstein G., Meinzer F.C., Kozovits A.R., Rundel P., Coradin V.T.R. (2005) Leaf functional traits of Neotropical savanna trees in relation to seasonal water deficit. *Trees*, **19**: 326-335.

Gomes F.P., Oliva M.A., Mielke M.S., de Almeida A-A.F., Leite, H.G. (2008) Photosynthetic limitations in leaves of young Brazilian Green Dwarf coconut (*Cocos nucifera* L. 'nana') palm under well-watered conditions or recovering from drought stress. *Environmental and Experimental Botany*, **62**: 195-204.

Haridasan, M. (2000) Nutrição mineral de plantas nativas do cerrado. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, **12**: 54-64.

Hirose T. & Bazzaz F.A. (1998) Trade-off between light- and nitrogen-use efficiency in canopy photosynthesis. *Annals of Botany*, **82**: 195-202.

Illenseer R. & Paulilo M.T.S. (2002) Crescimento e eficiência na utilização de nutrientes em plantas jovens de *Euterpe edulis* Mart. sob dois níveis de irradiância, nitrogênio e fósforo. *Acta Botanica Brasilica*, **16**(4): 385-394.

Larcher W. (2004) *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos. Ed. Rima.

Lemos Filho J.P., Goulart M.F., Lovato M.B. (2008) Populational approach in ecophysiological studies: the case of *Plathymenia reticulata*, a tree from Cerrado and Atlantic Forest. *Braz. J. Plant Physiol.*, **20**(3):205-216.

Liu C., Liu Y., Guo K., Fan D., Li G., Zheng Y., Yu L., Yang R. (2011) Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst habitats of southwestern China. *Environmental and Experimental Botany*, **71**: 174-183.

Lorenzi, H. (1996) *Palmeiras no Brasil: exóticas e nativas*. Nova Odessa, SP: Ed. Plantarum, 303p.

Marschner H. (1993) *Mineral nutrition of higher plants*. San Diego. Academic Press INC. Fifth printing. 674p.

Meinzer F.C., Goldstein G., Franco A.C., Bustamante M., Iglér E., Jackson P., Caldas L., Rundel P.W. (1999) Atmospheric and hydraulic limitations on transpiration in Brazilian cerrado woody species. *Functional Ecology*, **13**: 273-282.

Mooney H.A., Fichtner K., Schulze E.-D. (1995) Growth, photosynthesis and storage of carbohydrates and nitrogen in *Phaseolus lunatus* in relation to resource availability. *Oecologia*, **104**: 17-23.

Moreira A., Carvalho J.G., Evangelista A.R. (2005) Relação cálcio e magnésio na fertilidade de um latossolo vermelho escuro distrófico cultivado com alfafa. *Ciência e Agrotecnologia*, 29(4): 786-794.

Motta, P.E.F., Curi N., Oliveira-Filho A.T., Gomoies J.B.V. (2002) Ocorrência de macaúba em Minas Gerais: relação com atributos climáticos, pedológicos e vegetacionais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **37**: 1023-1031.

Moura E.F., Motoike S.Y., Ventrella M.C., Sá Júnior A.Q., Carvalho M. (2009) Somatic embryogenesis in macaw palm (*Acrocomia aculeata*) from zygotic embryos. *Scientia Horticulturae*, **119**: 447-454.

Nardoto G.B., Bustamante M.M.C., Pinto A.S., Klink C.A. (2006) Nutrient use efficiency at ecosystem and species level in savanna areas of Central Brazil and impacts of fire. *Journal of Tropical Ecology*, **22**:191-201.

Nogueira R.J.M.C., Moraes J.A.P.V., Burity H.A. (2000) Curso diário e sazonal das trocas gasosas e do potencial hídrico foliar em aceroleiras. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35(7): 1331-1342.

Oliveira M.A.J., Bovi M.L.A. , Machado E.C., Gomes M.M.A., Habermann G., Rodrigues J.D. (2002) Fotossíntese, condutância estomática e transpiração em pupunheira sob deficiência hídrica. *Scientia Agricola*, **59** (1): 59-63.

Ögren E. (1993) Convexity of the Photosynthetic Light-Response Curve in Relation to Intensity and Direction of Light during Growth. *Plant Physiology*, **101**: 1013-1019

Passos C.D., Passos E.E.M., Prado C.H.B.A. (2005) Comportamento sazonal do potencial hídrico e das trocas gasosas de quatro variedades de coqueiro-anão. *Revista Brasileira de Fruticultura*, **27**(2): 248-254.

Passos E.E.M., Prado C.H.B.A., Aragão W.M. (2009) The influence of vapour pressure deficit on leaf water relations of *Cocos nucifera* in northeast Brazil. *Experimental Agriculture*, **45**: 93–106.

Pompelli M.F., Martins S.C.V., Antunes W.C., Chaves A. R.M., DaMatta F. M. (2010) Photosynthesis and photoprotection in coffee leaves is affected by nitrogen and light availabilities in winter conditions. *Journal of Plant Physiology*, **167**: 1052-1060.

Posada J.M., Lechowicz M.J., Kitajima K. (2009) Optimal photosynthetic use of light by tropical tree crowns achieved by adjustment of individual leaf angles and nitrogen content. *Annals of Botany*, **103**: 795-805.

Prior L.D., Bowman D.M.J.S., Eamus D. (2004) Seasonal differences in leaf attributes in Australian tropical tree species: family and habitat comparisons. *Functional Ecology*, **18**:707-718.

Rahman M.U., Gul S., Ahmad I. (2004) Effects of Water Stress on Growth and Photosynthetic Pigments of Corn (*Zea mays* L.) Cultivars. *International Journal of Agriculture & Biology*, **6**(4): 652-655.

Reich P.B., Ellsworth D.S., Walters M.B. (1998) Leaf structure (specific leaf area) modulates photosynthesis-nitrogen relations: evidence from within and across species and functional groups. *Functional Ecology*, **12**: 948-958.

Rocha Filho L.C. & Lomônaco C. (2006) Variações fenotípicas em subpopulações de *Davilla elliptica* A. St.-Hil. (Dilleniaceae) e *Byrsonima intermedia* A. Juss. (Malpighiaceae) em uma área de transição cerrado-vereda. *Acta Botanica Brasilica*, **20**(3): 719-725.

Sagrilo E., Vidigal Filho P.S., Pequeno M.G., Vidigal M.C.G., Scapim C.A., Kvitschal M.V., Maia R.R., Rimoldi F. (2006) Effect of Harvest Period on Foliage Production and Dry Matter Distribution in Five Cassava Cultivars During the Second Plant Cycle. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, **49**(6): 1007-1018.

Santos M.G., Ribeiro R.V., Oliveira R., Pimentel C. (2004) Gas exchange and yield response to foliar phosphorus application in *Phaseolus vulgaris* L. under drought. *Brazilian Journal Plant Physiology*, **16**(3):171-179.

Scalona J.M., Flexas J., Medrano H. (1999) Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis under stress in field-grown grapevines. *Australian Journal Plant Physiology*, **26**: 421-433.

Scariot O. (1987) *Biologia reprodutiva de Acrocomia aculeata (Jacquin) Loddiges ex Martius (Palmae) no Distrito Federal*. Dissertação de mestrado. Departamento de Botânica. Instituto de Ciências Biológicas. Universidade de Brasília.



Saraceno M.I. (2006) Efeitos da fertilização a longo prazo no metabolismo fotossintético, nas características foliares e no crescimento em árvores do cerrado. Dissertação de Mestrado. Departamento de Ecologia. Universidade de Brasília. 54p.

Scalona J.M., Flexas J., Medrano H. (1999) Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis under stress in field-grown grapevines. *Australian Journal Plant Physiology*, **26**: 421-433.

Taiz, L. & Zeiger, E. (2004) *Fisiologia Vegetal*. 3ª Ed. Porto Alegre. Ed. Artmed. 719p.

Tang Z., Sayer M.A.S., Chambers J.L., Barnett J.P. (2004) Interactive effects of fertilization and throughfall exclusion on the physiological responses and whole-tree carbon uptake of mature loblolly pine. *Canadian Journal Botany*, **82**: 850-861.

Teixeira L.A.J. , Bataglia O.C., Buzetti S.R, Furlani Junior E. (2005) Adubação com NPK em coqueiro anão-verde (*Cocos nucifera* L.) – Atributos químicos do solo e nutrição da planta. *Revista Brasileira de Fruticultura*, **27**(1): 115-119.

Tucci M.L.S., Erismann N.M., Machado E.C., Ribeiro R.V. (2010) Diurnal and seasonal variation in photosynthesis of peach palms grown under subtropical conditions. *Photosynthetica*, **48**(3): 421-429.

Vitousek P.M., Naylor R., Crews T., David M.B., Drinkwater L.E., Holland E., Johnes P.J., Katzenberger J., Martinelli L. A., Matson P.A., Nziguheba G., Ojima D., Palm C.A., Robertson G.P., Sanchez P.A., Townsend A.R., Zhang F.S. (2009) Nutrient Imbalances in Agricultural Development. *Science*, **324**: 1519-1520.

Yang Q., Zhang F., Li F. (2011) Effect of different drip irrigation methods and fertilization on growth, physiology and water use of young apple tree. *Scientia Horticulturae*, **129**: 119-126.

Yong J.W.H., Ng Y.F., Tan S.N., Chew A.Y.L. (2010) Effect of fertilizer application on photosynthesis and oil yield of *Jatropha curcas* L. *Photosynthetica*, **48**(2): 208-218.

Wellburn A.R. (1994) The spectral determination of Chlorophylls *a* and *b*, as well as total Carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*, **144**: 307-313.

Wright I.J., Reich P.B., Westoby M. (2001) Strategy shifts in leaf physiology, structure and nutrient content between species of high- and low-rainfall and high- and low-nutrient habitats. *Functional Ecology*, **15**: 423-434. Blackwell

Zar, H.J. (2010) *Biostatistical Analysis*. 5<sup>a</sup> Ed. New Jersey. Ed. Prentice Hall. 663p.

## 6. ANEXOS

**Anexo I.** Comandos utilizados no programa estatístico gratuito “R” para o ajuste das curvas de resposta à luz

```
> install.packages("FME")
> library(FME)
> install.packages("FME")
> library(FME)
> initial<-c(Rd=min(A),alpha=as.numeric(lm(A[1:4]~Qleaf[1:4])$coefficient[2]),
Amax=max(A),theta=0.75)
> initialLower<-c(Rd=-10,alpha=0, Amax=1, theta=0.1) initialUpper<-c(Rd=0,alpha=0.999,
Amax=60, theta=0.99)
> nrh<-function(xx,initial)initial[1]+(initial[2]*xx+(initial[3]+initial[1])-
sqrt((initial[2]*xx+(initial[3]+initial[1]))^2-
4*(initial[4]*initial[2]*xx*(initial[3]+initial[1]))))/(2*initial[4])
> residual<-function(p, observed,xx) observed-nrh(xx,p)
> result<-modFit(f=residual, p=initial, xx=Qleaf, observed=A, method=("Pseudo"),
lower=initialLower, upper=initialUpper,control=c(numiter=50000))
> plot(A~Qleaf,xlab=expression("PPFD "(μmol.m^-2".s^-1")),ylab=expression("A
"(μmol.m^-2".s^-1")))
> lines(seq(min(Qleaf),max(Qleaf),by=0.1), nrh(seq(min(Qleaf),max(Qleaf),by=0.1), result$par))
> summary(initial)
> summary(initialLower)
> summary(initialUpper)
> summary(result)
```

**ANEXO II.** Valores das ANOVA's para as curvas diárias realizadas nas estações seca e chuvosa(Capítulo 1)

1. Estação seca (ANOVA FATORIAL 2x2)

8:00 h

Transpiração foliar (E)

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	278,7230	1	278,7230	711,7561	0,000000
Blocos	1,5497	3	0,5166	1,3191	0,327486
Tratamentos	1,5006	1	1,5006	3,8320	0,081965
Origem	0,1764	1	0,1764	0,4505	0,518969
Tratamentos*Origem	0,2147	1	0,2147	0,5482	0,477921
Error	3,5244	9	0,3916		

Condutância estomática (gs)

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	0,731025	1	0,731025	225,2088	0,000000
Blocos	0,012058	3	0,004019	1,2383	0,351815
Tratamentos	0,015211	1	0,015211	4,6861	0,058613
Origem	0,000400	1	0,000400	0,1232	0,733636
Tratamentos*Origem	0,002336	1	0,002336	0,7197	0,418236
Error	0,029214	9	0,003246		

Assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A<sub>CO2</sub>)

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	3310,372	1	3310,372	656,8022	0,000000
Blocos	37,179	3	12,393	2,4589	0,129425
Tratamentos	13,280	1	13,280	2,6348	0,138991
Origem	4,288	1	4,288	0,8508	0,380378
Tratamentos*Origem	3,799	1	3,799	0,7538	0,407830
Error	45,361	9	5,040		

10:00 h

E

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	281,0932	1	281,0932	311,2726	0,000000
Blocos	0,8878	3	0,2959	0,3277	0,805577
Tratamentos	6,8426	1	6,8426	7,5772	0,022379
Origem	0,4635	1	0,4635	0,5133	0,491885
Tratamentos*Origem	0,9818	1	0,9818	1,0872	0,324299
Error	8,1274	9	0,9030		

gs

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	0,536556	1	0,536556	63,65064	0,000023
Blocos	0,013097	3	0,004366	0,51787	0,680361
Tratamentos	0,050251	1	0,050251	5,96114	0,037270
Origem	0,006006	1	0,006006	0,71251	0,420482
Tratamentos*Origem	0,007367	1	0,007367	0,87398	0,374260
Error	0,075867	9	0,008430		

A<sub>CO2</sub>

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	2933,938	1	2933,938	359,1619	0,000000
Blocos	32,339	3	10,780	1,3196	0,327331
Tratamentos	70,826	1	70,826	8,6703	0,016366

Origem	1,852	1	1,852	0,2267	0,645328
Tratamentos*Origem	2,836	1	2,836	0,3472	0,570182
Error	73,520	9	8,169		

12:00 h

E

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	188,9938	1	188,9938	184,5620	0,000000
Blocos	0,3069	3	0,1023	0,0999	0,958059
Tratamentos	31,0156	1	31,0156	30,2883	0,000378
Origem	0,0410	1	0,0410	0,0400	0,845842
Tratamentos*Origem	0,0001	1	0,0001	0,0001	0,991692
Error	9,2161	9	1,0240		

gs

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	0,180625	1	0,180625	73,86407	0,000012
Blocos	0,004164	3	0,001388	0,56759	0,650108
Tratamentos	0,046225	1	0,046225	18,90307	0,001856
Origem	0,000100	1	0,000100	0,04089	0,844241
Tratamentos*Origem	0,000011	1	0,000011	0,00454	0,947731
Error	0,022008	9	0,002445		

A<sub>CO2</sub>

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	1239,685	1	1239,685	135,9437	0,000001
Blocos	8,114	3	2,705	0,2966	0,827056
Tratamentos	236,621	1	236,621	25,9479	0,000650
Origem	2,709	1	2,709	0,2970	0,598986
Tratamentos*Origem	0,592	1	0,592	0,0649	0,804672
Error	82,072	9	9,119		

14:00 h

E

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	96,59614	1	96,59614	193,0518	0,000000
Blocos	2,44247	3	0,81416	1,6271	0,250936
Tratamentos	16,33507	1	16,33507	32,6464	0,000289
Origem	0,09303	1	0,09303	0,1859	0,676482
Tratamentos*Origem	0,12134	1	0,12134	0,2425	0,634199
Error	4,50328	9	0,50036		

gs

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	0,119601	1	0,119601	113,2314	0,000002
Blocos	0,006008	3	0,002003	1,8959	0,200785
Tratamentos	0,033306	1	0,033306	31,5325	0,000328
Origem	0,000084	1	0,000084	0,0796	0,784283
Tratamentos*Origem	0,000084	1	0,000084	0,0796	0,784283
Error	0,009506	9	0,001056		

A<sub>CO2</sub>

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	1372,456	1	1372,456	735,1866	0,000000
Blocos	30,818	3	10,273	5,5027	0,020070
Tratamentos	80,610	1	80,610	43,1808	0,000103
Origem	1,120	1	1,120	0,6000	0,458447
Tratamentos*Origem	23,782	1	23,782	12,7393	0,006032
Error	16,801	9	1,867		

16:00 h

E					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	75,12556	1	75,12556	125,8070	0,000001
Blocos	1,56030	3	0,52010	0,8710	0,491179
Tratamentos	2,14867	1	2,14867	3,5982	0,090336
Origem	0,14377	1	0,14377	0,2408	0,635402
Tratamentos*Origem	0,03151	1	0,03151	0,0528	0,823462
Error	5,37435	9	0,59715		

gs					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	0,078867	1	0,078867	81,68473	0,000008
Blocos	0,002408	3	0,000803	0,83122	0,509543
Tratamentos	0,003701	1	0,003701	3,83289	0,081937
Origem	0,000251	1	0,000251	0,25965	0,622620
Tratamentos*Origem	0,000006	1	0,000006	0,00647	0,937635
Error	0,008690	9	0,000966		

A <sub>CO2</sub>					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	1050,624	1	1050,624	41,25894	0,000122
Blocos	22,423	3	7,474	0,29353	0,829192
Tratamentos	45,158	1	45,158	1,77341	0,215701
Origem	0,530	1	0,530	0,02083	0,888418
Tratamentos*Origem	0,807	1	0,807	0,03169	0,862648
Error	229,177	9	25,464		

## 2. Estação chuvosa (ANOVA FATORIAL 2x2)

8:00h

E					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	517,5190	1	517,5190	2383,335	0,000000
Blocos	0,7166	3	0,2389	1,100	0,398311
Tratamentos	0,6637	1	0,6637	3,056	0,114355
Origem	1,0514	1	1,0514	4,842	0,055299
Tratamentos*Origem	0,0075	1	0,0075	0,035	0,856575
Error	1,9543	9	0,2171		

gs					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	2,045530	1	2,045530	310,3188	0,000000
Blocos	0,029744	3	0,009915	1,5041	0,278708
Tratamentos	0,003714	1	0,003714	0,5635	0,472020
Origem	0,040691	1	0,040691	6,1731	0,034730
Tratamentos*Origem	0,002005	1	0,002005	0,3042	0,594685
Error	0,059325	9	0,006592		

A <sub>CO2</sub>					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	4206,873	1	4206,873	1137,388	0,000000
Blocos	8,200	3	2,733	0,739	0,554921
Tratamentos	7,769	1	7,769	2,100	0,181199
Origem	16,931	1	16,931	4,578	0,061068
Tratamentos*Origem	8,871	1	8,871	2,398	0,155864

Error	33,288	9	3,699		
10:00 h					
E					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	413,2407	1	413,2407	226,0628	0,000000
Blocos	2,4592	3	0,8197	0,4484	0,724488
Tratamentos	0,0587	1	0,0587	0,0321	0,861810
Origem	1,0395	1	1,0395	0,5687	0,470064
Tratamentos*Origem	1,7681	1	1,7681	0,9672	0,351070
Error	16,4519	9	1,8280		

gs					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	1,389683	1	1,389683	431,5380	0,000000
Blocos	0,030597	3	0,010199	3,1671	0,078251
Tratamentos	0,000217	1	0,000217	0,0673	0,801125
Origem	0,009463	1	0,009463	2,9385	0,120637
Tratamentos*Origem	0,004740	1	0,004740	1,4719	0,255921
Error	0,028983	9	0,003220		

A <sub>CO2</sub>					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	3886,942	1	3886,942	345,1327	0,000000
Blocos	55,993	3	18,664	1,6573	0,244634
Tratamentos	1,328	1	1,328	0,1179	0,739226
Origem	0,002	1	0,002	0,0002	0,989154
Tratamentos*Origem	4,625	1	4,625	0,4106	0,537625
Error	101,360	9	11,262		

### 3. Comparação entre estações seca e chuvosa (ANOVA DE MEDIDAS REPETIDAS)

8:00 h					
E					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	777,9163	1	777,9163	2228,337	0,000000
Blocos	0,7327	3	0,2442	0,700	0,575566
Tratamentos	0,0842	1	0,0842	0,241	0,635125
Origem	0,1832	1	0,1832	0,525	0,487168
Tratamentos*Origem	0,0709	1	0,0709	0,203	0,662813
Error	3,1419	9	0,3491		
R1	18,3257	1	18,3257	56,818	0,000007
R1*Tratamentos	2,0801	1	2,0801	6,449	0,025960
R1*Origem	1,0446	1	1,0446	3,239	0,097096
R1*Tratamentos*Origem	0,1513	1	0,1513	0,469	0,506482
Error	3,8704	12	0,3225		

gs					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	2,611116	1	2,611116	338,2890	0,000000
Blocos	0,009753	3	0,003251	0,4212	0,742352

Tratamentos	0,001946	1	0,001946	0,2521	0,627636
Origem	0,016511	1	0,016511	2,1391	0,177607
Tratamentos*Origem	0,004335	1	0,004335	0,5616	0,472736
Error	0,069467	9	0,007719		
R1	0,165439	1	0,165439	38,8346	0,000044
R1*Tratamentos	0,016980	1	0,016980	3,9857	0,069087
R1*Origem	0,024580	1	0,024580	5,7698	0,033394
R1*Tratamentos*Origem	0,000006	1	0,000006	0,0015	0,969924
Error	0,051121	12	0,004260		

A<sub>CO2</sub>

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	7490,420	1	7490,420	1077,080	0,000000
Blocos	12,103	3	4,034	0,580	0,642659
Tratamentos	0,367	1	0,367	0,053	0,823400
Origem	2,089	1	2,089	0,300	0,596988
Tratamentos*Origem	0,530	1	0,530	0,076	0,788789
Error	62,589	9	6,954		
R1	26,825	1	26,825	6,525	0,025264
R1*Tratamentos	20,681	1	20,681	5,030	0,044569
R1*Origem	19,131	1	19,131	4,653	0,051979
R1*Tratamentos*Origem	12,141	1	12,141	2,953	0,111387
Error	49,336	12	4,111		

10:00 h

E

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	687,9882	1	687,9882	373,3548	0,000000
Blocos	2,4132	3	0,8044	0,4365	0,732266
Tratamentos	4,0841	1	4,0841	2,2164	0,170735
Origem	0,0574	1	0,0574	0,0311	0,863855
Tratamentos*Origem	0,0574	1	0,0574	0,0312	0,863798
Error	16,5845	9	1,8427		
R1	6,3457	1	6,3457	8,5285	0,012832
R1*Tratamentos	2,8171	1	2,8171	3,7862	0,075477
R1*Origem	1,4457	1	1,4457	1,9429	0,188625
R1*Tratamentos*Origem	2,6924	1	2,6924	3,6186	0,081406
Error	8,9287	12	0,7441		

gs

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	1,826626	1	1,826626	196,6693	0,000000
Blocos	0,007256	3	0,002419	0,2604	0,852168



Tratamentos	0,021933	1	0,021933	2,3615	0,158738
Origem	0,000196	1	0,000196	0,0211	0,887825
Tratamentos*Origem	0,000144	1	0,000144	0,0155	0,903561
Error	0,083590	9	0,009288		
R1	0,099613	1	0,099613	20,7178	0,000664
R1*Tratamentos	0,028534	1	0,028534	5,9346	0,031381
R1*Origem	0,015273	1	0,015273	3,1766	0,099997
R1*Tratamentos*Origem	0,011963	1	0,011963	2,4881	0,140692
Error	0,057697	12	0,004808		

A<sub>CO2</sub>

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	6787,428	1	6787,428	720,1444	0,000000
Blocos	32,638	3	10,879	1,1543	0,379305
Tratamentos	26,380	1	26,380	2,7989	0,128657
Origem	0,863	1	0,863	0,0916	0,769048
Tratamentos*Origem	0,109	1	0,109	0,0115	0,916826
Error	84,826	9	9,425		
R1	33,452	1	33,452	2,7542	0,122883
R1*Tratamentos	45,774	1	45,774	3,7687	0,076069
R1*Origem	0,991	1	0,991	0,0816	0,780036
R1*Tratamentos*Origem	7,352	1	7,352	0,6053	0,451617
Error	145,748	12	12,146		

**ANEXO III.** Valores das ANOVA's para as curvas de resposta à luz (Capítulo 1).

Assimilação líquida máxima de CO<sub>2</sub> ( $A_{max}$ )

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	3779,817	1	3779,817	558,9879	0,000000
Blocos	34,177	3	11,392	1,6848	0,246694
Tratamentos	7,904	1	7,904	1,1689	0,311142
Origem	0,167	1	0,167	0,0247	0,879095
Tratamentos*Origem	2,444	1	2,444	0,3615	0,564338
Error	54,095	8	6,762		
R1	3149,128	1	3149,128	369,7743	0,000000
R1*Tratamentos	5,809	1	5,809	0,6821	0,426425
R1*Origem	0,561	1	0,561	0,0659	0,802157
R1*Tratamentos*Origem	4,184	1	4,184	0,4913	0,497912
Error	93,680	11	8,516		

Respiração no escuro ( $R_d$ )

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	87,26449	1	87,26449	82,48100	0,000017
Blocos	6,90900	3	2,30300	2,17676	0,168641
Tratamentos	0,14592	1	0,14592	0,13792	0,719999
Origem	2,06189	1	2,06189	1,94887	0,200231
Tratamentos*Origem	0,11001	1	0,11001	0,10398	0,755367
Error	8,46396	8	1,05800		
R1	6,00371	1	6,00371	3,19251	0,101532
R1*Tratamentos	1,06400	1	1,06400	0,56579	0,467727
R1*Origem	2,61800	1	2,61800	1,39214	0,262932
R1*Tratamentos*Origem	0,00062	1	0,00062	0,00033	0,985833
Error	20,68616	11	1,88056		

Eficiência quântica ( $\alpha$ )

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	45,66729	1	45,66729	1335,929	0,000000
Blocos	0,12251	3	0,04084	1,195	0,371754
Tratamentos	0,01682	1	0,01682	0,492	0,502899
Origem	0,02461	1	0,02461	0,720	0,420873
Tratamentos*Origem	0,03065	1	0,03065	0,897	0,371383
Error	0,27347	8	0,03418		
R1	0,02297	1	0,02297	0,731	0,410845
R1*Tratamentos	0,00208	1	0,00208	0,066	0,801967
R1*Origem	0,01879	1	0,01879	0,598	0,455775
R1*Tratamentos*Origem	0,04381	1	0,04381	1,394	0,262681
Error	0,34579	11	0,03144		

Convexidade da curva ( $\theta$ )

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	13,39292	1	13,39292	62,63357	0,000047
Blocos	0,91091	3	0,30364	1,42000	0,306688
Tratamentos	0,07759	1	0,07759	0,36286	0,563602
Origem	2,02859	1	2,02859	9,48693	0,015115
Tratamentos*Origem	0,98338	1	0,98338	4,59891	0,064323
Error	1,71064	8	0,21383		
R1	0,32769	1	0,32769	0,43189	0,524574
R1*Tratamentos	0,57419	1	0,57419	0,75678	0,402922
R1*Origem	0,90123	1	0,90123	1,18781	0,299071

R1*Tratamentos*Origem	4,01416	1	4,01416	5,29062	0,042022
Error	8,34604	11	0,75873		

Assimilação líquida máxima real de CO<sub>2</sub> ( $A_{\text{maxreal}}$ )

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	5917,144	1	5917,144	1115,565	0,000000
Blocos	88,693	3	29,564	5,574	0,023219
Tratamentos	18,346	1	18,346	3,459	0,099966
Origem	0,018	1	0,018	0,003	0,954975
Tratamentos*Origem	26,370	1	26,370	4,971	0,056325
Error	42,433	8	5,304		
R1	277,152	1	277,152	16,0083	0,002082
R1*Tratamentos	0,074	1	0,074	0,0043	0,949099
R1*Origem	0,361	1	0,361	0,0209	0,887721
R1*Tratamentos*Origem	9,346	1	9,346	0,5398	0,477872
Error	190,442	11	17,313		

Respiração real no escuro ( $R_{\text{dreal}}$ )

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	0,284674	1	0,284674	3,958273	0,086950
Blocos	0,152702	3	0,050901	0,707754	0,577269
Tratamentos	0,115868	1	0,115868	1,611101	0,244907
Origem	0,126158	1	0,126158	1,754174	0,226956
Tratamentos*Origem	0,028919	1	0,028919	0,402105	0,546160
Error	0,503431	7	0,071919		
R1	0,156251	1	0,156251	0,809002	0,389561
R1*Tratamentos	0,268269	1	0,268269	1,388982	0,265860
R1*Origem	0,061987	1	0,061987	0,320942	0,583533
R1*Tratamentos*Origem	0,002904	1	0,002904	0,015035	0,904838
Error	1,931410	10	0,193141		

**ANEXO IV.** Valores de ANOVA's para os pigmentos fotossintetizantes (Capítulo 1).

Clorofila <i>a</i>					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	108907,3	1	108907,3	2607,919	0,000000
Blocos	131,0	3	43,7	1,045	0,418562
Tratamentos	0,6	1	0,6	0,013	0,910610
Origem	2,0	1	2,0	0,047	0,833461
Tratamentos*Origem	0,0	1	0,0	0,000	0,987127
Error	375,8	9	41,8		
R1	3223,9	1	3223,9	72,122	0,000002
R1*Tratamentos	109,6	1	109,6	2,452	0,143376
R1*Origem	19,0	1	19,0	0,426	0,526339
R1*Tratamentos*Origem	7,2	1	7,2	0,162	0,694779
Error	536,4	12	44,7		

Clorofila <i>b</i>					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	43,97032	1	43,97032	13196,73	0,000000
Blocos	0,01665	3	0,00555	1,67	0,242872
Tratamentos	0,00276	1	0,00276	0,83	0,386189
Origem	0,00006	1	0,00006	0,02	0,899745
Tratamentos*Origem	0,00009	1	0,00009	0,03	0,876161
Error	0,02999	9	0,00333		
R1	0,15523	1	0,15523	35,58	0,000066
R1*Tratamentos	0,02544	1	0,02544	5,83	0,032621
R1*Origem	0,00000	1	0,00000	0,00	0,995788
R1*Tratamentos*Origem	0,00003	1	0,00003	0,01	0,937402
Error	0,05236	12	0,00436		

Carotenos					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	6652,478	1	6652,478	3970,105	0,000000
Blocos	11,307	3	3,769	2,249	0,151758
Tratamentos	0,241	1	0,241	0,144	0,713398
Origem	1,262	1	1,262	0,753	0,408022
Tratamentos*Origem	0,017	1	0,017	0,010	0,921875
Error	15,081	9	1,676		
R1	106,732	1	106,732	51,582	0,000011
R1*Tratamentos	0,010	1	0,010	0,005	0,945997
R1*Origem	7,095	1	7,095	3,429	0,088816
R1*Tratamentos*Origem	1,335	1	1,335	0,645	0,437397
Error	24,830	12	2,069		

Clorofila <i>a+b</i> /Carotenos					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	826,8068	1	826,8068	8639,101	0,000000
Blocos	0,9972	3	0,3324	3,473	0,063918
Tratamentos	0,0335	1	0,0335	0,350	0,568876
Origem	0,0922	1	0,0922	0,964	0,351934
Tratamentos*Origem	0,0009	1	0,0009	0,010	0,923318
Error	0,8613	9	0,0957		
R1	1,5572	1	1,5572	13,786	0,002965

R1*Tratamentos	1,3392	1	1,3392	11,855	0,004866
R1*Origem	0,3376	1	0,3376	2,988	0,109476
R1*Tratamentos*Origem	0,0416	1	0,0416	0,368	0,555213
Error	1,3555	12	0,1130		

---

**ANEXO V.** Valores de ANOVA's para micronutrientes (Capítulo 1).

Alumínio					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	95,90826	1	95,90826	5619,803	0,000000
Blocos	0,09729	3	0,03243	1,900	0,200083
Tratamentos	0,01294	1	0,01294	0,758	0,406486
Origem	0,00355	1	0,00355	0,208	0,659256
Tratamentos*Origem	0,00572	1	0,00572	0,335	0,576792
Error	0,15360	9	0,01707		
R1	0,21732	1	0,21732	9,801	0,008681
R1*Tratamentos	0,00223	1	0,00223	0,101	0,756638
R1*Origem	0,00001	1	0,00001	0,001	0,980470
R1*Tratamentos*Origem	0,01167	1	0,01167	0,526	0,482094
Error	0,26608	12	0,02217		

Boro					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	6514,826	1	6514,826	1813,780	0,000000
Blocos	6,504	3	2,168	0,604	0,628928
Tratamentos	3,131	1	3,131	0,872	0,374838
Origem	74,451	1	74,451	20,728	0,001380
Tratamentos*Origem	10,363	1	10,363	2,885	0,123629
Error	32,327	9	3,592		
R1	21,797	1	21,797	2,643	0,129957
R1*Tratamentos	7,811	1	7,811	0,947	0,349644
R1*Origem	12,264	1	12,264	1,487	0,246091
R1*Tratamentos*Origem	18,015	1	18,015	2,185	0,165163
Error	98,959	12	8,247		

Cobre					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	936,2546	1	936,2546	1315,508	0,000000
Blocos	6,3728	3	2,1243	2,985	0,088643
Tratamentos	0,0319	1	0,0319	0,045	0,837103
Origem	0,8878	1	0,8878	1,247	0,292979
Tratamentos*Origem	0,2869	1	0,2869	0,403	0,541285
Error	6,4054	9	0,7117		
R1	24,4126	1	24,4126	20,5838	0,000681
R1*Tratamentos	1,7066	1	1,7066	1,4390	0,253456
R1*Origem	8,7049	1	8,7049	7,3396	0,018984
R1*Tratamentos*Origem	0,1668	1	0,1668	0,1406	0,714228
Error	14,2321	12	1,1860		

Ferro					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	122,4621	1	122,4621	27295,00	0,000000
Blocos	0,0030	3	0,0010	0,23	0,876063
Tratamentos	0,0030	1	0,0030	0,68	0,431626
Origem	0,0750	1	0,0750	16,71	0,002727
Tratamentos*Origem	0,0024	1	0,0024	0,54	0,481806
Error	0,0404	9	0,0045		

R1	0,0024	1	0,0024	0,48	0,501716
R1*Tratamentos	0,0003	1	0,0003	0,06	0,805739
R1*Origem	0,0017	1	0,0017	0,33	0,573869
R1*Tratamentos*Origem	0,0024	1	0,0024	0,48	0,501289
Error	0,0603	12	0,0050		

#### Managês

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	100352,0	1	100352,0	198,2829	0,000000
Blocos	542,8	3	180,9	0,3575	0,785168
Tratamentos	662,5	1	662,5	1,3090	0,282096
Origem	73,2	1	73,2	0,1446	0,712528
Tratamentos*Origem	748,8	1	748,8	1,4796	0,254771
Error	4554,9	9	506,1		
R1	722,0	1	722,0	4,8873	0,047219
R1*Tratamentos	79,4	1	79,4	0,5373	0,477615
R1*Origem	99,4	1	99,4	0,6729	0,428041
R1*Tratamentos*Origem	13,0	1	13,0	0,0880	0,771766
Error	1772,8	12	147,7		

#### Zinco

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	47,68181	1	47,68181	2425,243	0,000000
Blocos	0,01281	3	0,00427	0,217	0,882007
Tratamentos	0,03575	1	0,03575	1,818	0,210454
Origem	0,02417	1	0,02417	1,230	0,296234
Tratamentos*Origem	0,00174	1	0,00174	0,089	0,772565
Error	0,17695	9	0,01966		
R1	1,01902	1	1,01902	130,418	0,000000
R1*Tratamentos	0,02632	1	0,02632	3,368	0,091373
R1*Origem	0,06910	1	0,06910	8,844	0,011617
R1*Tratamentos*Origem	0,02371	1	0,02371	3,035	0,107026
Error	0,09376	12	0,00781		

**ANEXO VI.** Valores das ANOVA's para as curvas diárias realizadas nas estações seca e chuvosa (Capítulo 2).

1. Estação seca (ANOVA FAORIAL 2x2)

8:00h

E

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	205,0385	1	205,0385	460,9826	0,000000
Blocos	0,9476	3	0,3159	0,7102	0,569946
Tratamentos	0,1219	1	0,1219	0,2741	0,613238
Origem	0,0002	1	0,0002	0,0005	0,983516
Tratamentos*Origem	0,0275	1	0,0275	0,0618	0,809209
Error	4,0031	9	0,4448		

gs

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	0,656100	1	0,656100	180,3023	0,000000
Blocos	0,003406	3	0,001135	0,3120	0,816433
Tratamentos	0,000544	1	0,000544	0,1496	0,707887
Origem	0,001344	1	0,001344	0,3695	0,558320
Tratamentos*Origem	0,000278	1	0,000278	0,0763	0,788566
Error	0,032750	9	0,003639		

A<sub>CO2</sub>

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	3085,432	1	3085,432	535,5471	0,000000
Blocos	8,623	3	2,874	0,4989	0,692189
Tratamentos	20,627	1	20,627	3,5802	0,091023
Origem	5,252	1	5,252	0,9116	0,364640
Tratamentos*Origem	1,877	1	1,877	0,3258	0,582124
Error	51,851	9	5,761		

10:00h

E

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	225,4252	1	225,4252	713,3470	0,000000
Blocos	0,0616	3	0,0205	0,0650	0,977079
Tratamentos	0,0431	1	0,0431	0,1362	0,720573
Origem	0,2475	1	0,2475	0,7832	0,399184
Tratamentos*Origem	0,5124	1	0,5124	1,6215	0,234784
Error	2,8441	9	0,3160		

gs

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	0,621469	1	0,621469	302,4727	0,000000
Blocos	0,006358	3	0,002119	1,0315	0,423908
Tratamentos	0,000225	1	0,000225	0,1095	0,748278
Origem	0,006944	1	0,006944	3,3799	0,099155
Tratamentos*Origem	0,004444	1	0,004444	2,1631	0,175433
Error	0,018492	9	0,002055		

A<sub>CO2</sub>

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	2861,358	1	2861,358	686,0323	0,000000



Blocos	7,559	3	2,520	0,6041	0,628612
Tratamentos	0,514	1	0,514	0,1231	0,733725
Origem	1,051	1	1,051	0,2519	0,627792
Tratamentos*Origem	19,625	1	19,625	4,7052	0,058194
Error	37,538	9	4,171		

12:00h

E

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	170,5201	1	170,5201	155,4651	0,000001
Blocos	0,2850	3	0,0950	0,0866	0,965613
Tratamentos	0,2336	1	0,2336	0,2130	0,655388
Origem	0,8773	1	0,8773	0,7999	0,394416
Tratamentos*Origem	1,7292	1	1,7292	1,5766	0,240876
Error	9,8715	9	1,0968		

gs

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	0,213906	1	0,213906	59,23431	0,000030
Blocos	0,000885	3	0,000295	0,08173	0,968305
Tratamentos	0,000156	1	0,000156	0,04327	0,839852
Origem	0,000156	1	0,000156	0,04327	0,839852
Tratamentos*Origem	0,009184	1	0,009184	2,54321	0,145233
Error	0,032501	9	0,003611		

A<sub>CO2</sub>

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	1600,733	1	1600,733	274,3338	0,000000
Blocos	9,323	3	3,108	0,5326	0,671290
Tratamentos	2,390	1	2,390	0,4095	0,538156
Origem	0,100	1	0,100	0,0171	0,898850
Tratamentos*Origem	14,169	1	14,169	2,4283	0,153592
Error	52,515	9	5,835		

14:00h

E

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	90,88444	1	90,88444	186,9488	0,000000
Blocos	2,63573	3	0,87858	1,8072	0,215902
Tratamentos	1,83151	1	1,83151	3,7674	0,084177
Origem	0,58778	1	0,58778	1,2091	0,300060
Tratamentos*Origem	0,16538	1	0,16538	0,3402	0,574047
Error	4,37532	9	0,48615		

gs

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	0,091506	1	0,091506	174,9920	0,000000
Blocos	0,004385	3	0,001462	2,7955	0,101243
Tratamentos	0,001667	1	0,001667	3,1886	0,107808
Origem	0,000434	1	0,000434	0,8300	0,386020
Tratamentos*Origem	0,001667	1	0,001667	3,1886	0,107808
Error	0,004706	9	0,000523		

A<sub>CO2</sub>

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	1306,702	1	1306,702	127,1748	0,000001
Blocos	3,755	3	1,252	0,1218	0,944912
Tratamentos	48,140	1	48,140	4,6853	0,058632
Origem	0,711	1	0,711	0,0692	0,798402
Tratamentos*Origem	17,445	1	17,445	1,6978	0,224926
Error	92,474	9	10,275		

16:00h

E

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	77,42533	1	77,42533	151,3193	0,000001
Blocos	1,50479	3	0,50160	0,9803	0,444218
Tratamentos	0,77001	1	0,77001	1,5049	0,251044
Origem	0,22801	1	0,22801	0,4456	0,521173
Tratamentos*Origem	0,49351	1	0,49351	0,9645	0,351717
Error	4,60502	9	0,51167		

gs

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	0,081225	1	0,081225	75,77570	0,000011
Blocos	0,003336	3	0,001112	1,03743	0,421641
Tratamentos	0,001600	1	0,001600	1,49266	0,252839
Origem	0,001003	1	0,001003	0,93550	0,358708
Tratamentos*Origem	0,000544	1	0,000544	0,50792	0,494103
Error	0,009647	9	0,001072		

A<sub>CO2</sub>

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	823,4987	1	823,4987	114,9290	0,000002
Blocos	15,0788	3	5,0263	0,7015	0,574547
Tratamentos	9,8596	1	9,8596	1,3760	0,270890
Origem	1,0540	1	1,0540	0,1471	0,710221
Tratamentos*Origem	1,0678	1	1,0678	0,1490	0,708440
Error	64,4875	9	7,1653		

## 2. Estação chuvosa (ANOVA FAORIAL 2x2)

8:00h

E

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	320,1416	1	320,1416	669,0458	0,000000
Blocos	12,6738	3	4,2246	8,8288	0,004797
Tratamentos	0,2605	1	0,2605	0,5445	0,479388
Origem	0,7649	1	0,7649	1,5985	0,237874
Tratamentos*Origem	0,0148	1	0,0148	0,0309	0,864278
Error	4,3065	9	0,4785		

gs

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	2,038351	1	2,038351	126,2212	0,000001
Blocos	0,030405	3	0,010135	0,6276	0,615171
Tratamentos	0,000002	1	0,000002	0,0001	0,991094
Origem	0,040754	1	0,040754	2,5236	0,146618
Tratamentos*Origem	0,004641	1	0,004641	0,2874	0,604894

Error 0,145341 9 0,016149

A<sub>CO2</sub>

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	4007,127	1	4007,127	1304,870	0,000000
Blocos	15,732	3	5,244	1,708	0,234510
Tratamentos	0,014	1	0,014	0,004	0,948467
Origem	0,275	1	0,275	0,090	0,771382
Tratamentos*Origem	1,095	1	1,095	0,357	0,565121
Error	27,638	9	3,071		

10:00h

E

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	216,4577	1	216,4577	399,8656	0,000000
Blocos	0,9640	3	0,3213	0,5936	0,634741
Tratamentos	0,5293	1	0,5293	0,9777	0,348603
Origem	0,2438	1	0,2438	0,4504	0,519016
Tratamentos*Origem	0,2657	1	0,2657	0,4907	0,501301
Error	4,8719	9	0,5413		

gs

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	1,308641	1	1,308641	248,1868	0,000000
Blocos	0,007903	3	0,002634	0,4996	0,691753
Tratamentos	0,000131	1	0,000131	0,0249	0,878100
Origem	0,029684	1	0,029684	5,6297	0,041724
Tratamentos*Origem	0,004307	1	0,004307	0,8168	0,389677
Error	0,047455	9	0,005273		

A<sub>CO2</sub>

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	2636,502	1	2636,502	646,9178	0,000000
Blocos	6,674	3	2,225	0,5458	0,663194
Tratamentos	1,307	1	1,307	0,3206	0,585068
Origem	0,199	1	0,199	0,0487	0,830222
Tratamentos*Origem	7,626	1	7,626	1,8711	0,204528
Error	36,679	9	4,075		

12:00h

E

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	387,8438	1	387,8438	637,0018	0,000000
Blocos	0,3567	3	0,1189	0,1953	0,896991
Tratamentos	0,2496	1	0,2496	0,4099	0,537967
Origem	0,0179	1	0,0179	0,0294	0,867694
Tratamentos*Origem	2,3066	1	2,3066	3,7884	0,083450
Error	5,4797	9	0,6089		

gs

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	0,916407	1	0,916407	226,3055	0,000000
Blocos	0,013294	3	0,004431	1,0943	0,400413
Tratamentos	0,002237	1	0,002237	0,5523	0,476330
Origem	0,012516	1	0,012516	3,0908	0,112604

Tratamentos*Origem	0,002356	1	0,002356	0,5819	0,465098
Error	0,036445	9	0,004049		

A<sub>CO2</sub>

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	2148,207	1	2148,207	456,7558	0,000000
Blocos	24,961	3	8,320	1,7691	0,222816
Tratamentos	29,480	1	29,480	6,2682	0,033661
Origem	4,314	1	4,314	0,9173	0,363202
Tratamentos*Origem	7,056	1	7,056	1,5002	0,251732
Error	42,329	9	4,703		

14:00h

E

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	459,5628	1	459,5628	134,2514	0,000001
Blocos	6,4456	3	2,1485	0,6277	0,615134
Tratamentos	0,0441	1	0,0441	0,0129	0,912089
Origem	2,1294	1	2,1294	0,6221	0,450558
Tratamentos*Origem	0,0951	1	0,0951	0,0278	0,871294
Error	30,8084	9	3,4232		

gs

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	0,565943	1	0,565943	99,49351	0,000004
Blocos	0,004500	3	0,001500	0,26371	0,849884
Tratamentos	0,001824	1	0,001824	0,32066	0,585052
Origem	0,019658	1	0,019658	3,45597	0,095962
Tratamentos*Origem	0,000231	1	0,000231	0,04066	0,844676
Error	0,051194	9	0,005688		

A<sub>CO2</sub>

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	1523,728	1	1523,728	61,30216	0,000026
Blocos	17,668	3	5,889	0,23694	0,868434
Tratamentos	11,253	1	11,253	0,45273	0,517945
Origem	15,954	1	15,954	0,64184	0,443679
Tratamentos*Origem	9,962	1	9,962	0,40080	0,542429
Error	223,704	9	24,856		

16:00h

E

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	127,1050	1	127,1050	168,5290	0,000000
Blocos	17,9746	3	5,9915	7,9442	0,006733
Tratamentos	0,1069	1	0,1069	0,1417	0,715313
Origem	1,2098	1	1,2098	1,6041	0,237118
Tratamentos*Origem	0,7377	1	0,7377	0,9782	0,348494
Error	6,7878	9	0,7542		

gs

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	0,282625	1	0,282625	248,3801	0,000000
Blocos	0,054225	3	0,018075	15,8848	0,000612
Tratamentos	0,000028	1	0,000028	0,0246	0,878808

Origem	0,012553	1	0,012553	11,0323	0,008919
Tratamentos*Origem	0,001940	1	0,001940	1,7046	0,224068
Error	0,010241	9	0,001138		

A <sub>CO2</sub>					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	402,0510	1	402,0510	27,68034	0,000520
Blocos	81,9432	3	27,3144	1,88054	0,203312
Tratamentos	2,8058	1	2,8058	0,19317	0,670655
Origem	1,3467	1	1,3467	0,09271	0,767677
Tratamentos*Origem	2,8588	1	2,8588	0,19682	0,667773
Error	130,7231	9	14,5248		

### 3. Comparação entre estações seca e chuvosa (ANOVA DE MEDIDAS REPETIDAS)

8:00h

E					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	518,7957	1	518,7957	924,4845	0,000000
Blocos	3,5541	3	1,1847	2,1111	0,169016
Tratamentos	0,0130	1	0,0130	0,0232	0,882381
Origem	0,3949	1	0,3949	0,7038	0,423240
Tratamentos*Origem	0,0413	1	0,0413	0,0736	0,792222
Error	5,0506	9	0,5612		
R1	6,3844	1	6,3844	5,7489	0,033660
R1*Tratamentos	0,3694	1	0,3694	0,3327	0,574751
R1*Origem	0,3702	1	0,3702	0,3333	0,574386
R1*Tratamentos*Origem	0,0010	1	0,0010	0,0009	0,976845
Error	13,3264	12	1,1105		

gs					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	2,503669	1	2,503669	191,0930	0,000000
Blocos	0,022904	3	0,007635	0,5827	0,641138
Tratamentos	0,000307	1	0,000307	0,0235	0,881657
Origem	0,028451	1	0,028451	2,1715	0,174680
Tratamentos*Origem	0,001324	1	0,001324	0,1011	0,757822
Error	0,117917	9	0,013102		
R1	0,190782	1	0,190782	32,2079	0,000103
R1*Tratamentos	0,000239	1	0,000239	0,0404	0,844083
R1*Origem	0,013647	1	0,013647	2,3039	0,154947
R1*Tratamentos*Origem	0,003595	1	0,003595	0,6069	0,451055
Error	0,071081	12	0,005923		

A <sub>CO2</sub>					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	7062,488	1	7062,488	1846,847	0,000000
Blocos	21,667	3	7,222	1,889	0,201976
Tratamentos	10,849	1	10,849	2,837	0,126399
Origem	1,561	1	1,561	0,408	0,538811
Tratamentos*Origem	0,052	1	0,052	0,014	0,909436
Error	34,417	9	3,824		
R1	30,072	1	30,072	7,555	0,017644
R1*Tratamentos	9,791	1	9,791	2,460	0,142755

R1*Origem	3,966	1	3,966	0,997	0,337860
R1*Tratamentos*Origem	2,920	1	2,920	0,734	0,408510
Error	47,761	12	3,980		

10:00h

E

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	441,8374	1	441,8374	1174,174	0,000000
Blocos	0,6864	3	0,2288	0,608	0,626387
Tratamentos	0,1352	1	0,1352	0,359	0,563683
Origem	0,4913	1	0,4913	1,306	0,282680
Tratamentos*Origem	0,0201	1	0,0201	0,053	0,822464
Error	3,3867	9	0,3763		
R1	0,0455	1	0,0455	0,117	0,738276
R1*Tratamentos	0,4371	1	0,4371	1,124	0,310029
R1*Origem	0,0000	1	0,0000	0,000	0,996678
R1*Tratamentos*Origem	0,7580	1	0,7580	1,948	0,188061
Error	4,6686	12	0,3891		

gs

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	1,866876	1	1,866876	637,9909	0,000000
Blocos	0,008192	3	0,002731	0,9331	0,463860
Tratamentos	0,000006	1	0,000006	0,0021	0,964085
Origem	0,003957	1	0,003957	1,3522	0,274798
Tratamentos*Origem	0,008751	1	0,008751	2,9904	0,117817
Error	0,026336	9	0,002926		
R1	0,063235	1	0,063235	16,6110	0,001538
R1*Tratamentos	0,000350	1	0,000350	0,0919	0,766909
R1*Origem	0,032672	1	0,032672	8,5826	0,012613
R1*Tratamentos*Origem	0,000001	1	0,000001	0,0001	0,990671
Error	0,045681	12	0,003807		

A<sub>CO2</sub>

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	5495,560	1	5495,560	1353,876	0,000000
Blocos	7,162	3	2,387	0,588	0,637929
Tratamentos	0,091	1	0,091	0,022	0,884323
Origem	1,081	1	1,081	0,266	0,618195
Tratamentos*Origem	1,392	1	1,392	0,343	0,572530
Error	36,532	9	4,059		
R1	2,300	1	2,300	0,617	0,447506
R1*Tratamentos	1,729	1	1,729	0,464	0,508831
R1*Origem	0,168	1	0,168	0,045	0,835563
R1*Tratamentos*Origem	25,859	1	25,859	6,933	0,021850
Error	44,756	12	3,730		

12:00h

E

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	536,3495	1	536,3495	714,7142	0,000000
Blocos	0,5773	3	0,1924	0,2564	0,854950
Tratamentos	0,0001	1	0,0001	0,0002	0,989706
Origem	0,3223	1	0,3223	0,4295	0,528613
Tratamentos*Origem	4,0151	1	4,0151	5,3503	0,046005
Error	6,7540	9	0,7504		

R1	22,0144	1	22,0144	30,4986	0,000131
R1*Tratamentos	0,4831	1	0,4831	0,6692	0,429265
R1*Origem	0,5729	1	0,5729	0,7937	0,390500
R1*Tratamentos*Origem	0,0208	1	0,0208	0,0288	0,868167
Error	8,6618	12	0,7218		

gs

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	1,007904	1	1,007904	211,2363	0,000000
Blocos	0,009601	3	0,003200	0,6707	0,591120
Tratamentos	0,000605	1	0,000605	0,1268	0,729933
Origem	0,004938	1	0,004938	1,0348	0,335590
Tratamentos*Origem	0,010422	1	0,010422	2,1843	0,173548
Error	0,042943	9	0,004771		
R1	0,122409	1	0,122409	48,0343	0,000016
R1*Tratamentos	0,001788	1	0,001788	0,7014	0,418670
R1*Origem	0,007735	1	0,007735	3,0351	0,107027
R1*Tratamentos*Origem	0,001118	1	0,001118	0,4388	0,520218
Error	0,030580	12	0,002548		

A<sub>CO2</sub>

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	3728,845	1	3728,845	908,3170	0,000000
Blocos	19,276	3	6,425	1,5651	0,264511
Tratamentos	7,542	1	7,542	1,8371	0,208325
Origem	2,863	1	2,863	0,6974	0,425268
Tratamentos*Origem	20,611	1	20,611	5,0206	0,051786
Error	36,947	9	4,105		
R1	20,095	1	20,095	3,3076	0,093988
R1*Tratamentos	24,328	1	24,328	4,0044	0,068523
R1*Origem	1,551	1	1,551	0,2553	0,622525
R1*Tratamentos*Origem	0,614	1	0,614	0,1010	0,756071
Error	72,905	12	6,075		

14:00h

E

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	479,5937	1	479,5937	224,7562	0,000000
Blocos	8,6108	3	2,8703	1,3451	0,320062
Tratamentos	0,6535	1	0,6535	0,3063	0,593463
Origem	0,2398	1	0,2398	0,1124	0,745114
Tratamentos*Origem	0,2557	1	0,2557	0,1198	0,737186
Error	19,2046	9	2,1338		
R1	70,8536	1	70,8536	51,6875	0,000011
R1*Tratamentos	1,2221	1	1,2221	0,8915	0,363683
R1*Origem	2,4774	1	2,4774	1,8072	0,203705
R1*Tratamentos*Origem	0,0048	1	0,0048	0,0035	0,953660
Error	16,4497	12	1,3708		

gs

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	0,556293	1	0,556293	159,2760	0,000001
Blocos	0,008478	3	0,002826	0,8091	0,520051
Tratamentos	0,003490	1	0,003490	0,9991	0,343635
Origem	0,007125	1	0,007125	2,0401	0,186973
Tratamentos*Origem	0,000328	1	0,000328	0,0940	0,766122

Error	0,031434	9	0,003493		
R1	0,101156	1	0,101156	48,8005	0,000015
R1*Tratamentos	0,000002	1	0,000002	0,0008	0,977247
R1*Origem	0,012967	1	0,012967	6,2557	0,027857
R1*Tratamentos*Origem	0,001570	1	0,001570	0,7576	0,401166
Error	0,024874	12	0,002073		

A<sub>CO2</sub>

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	2826,264	1	2826,264	99,19711	0,000004
Blocos	16,151	3	5,384	0,18896	0,901271
Tratamentos	52,972	1	52,972	1,85922	0,205845
Origem	4,964	1	4,964	0,17423	0,686162
Tratamentos*Origem	26,886	1	26,886	0,94366	0,356721
Error	256,423	9	28,491		
R1	4,166	1	4,166	0,7688	0,397790
R1*Tratamentos	6,422	1	6,422	1,1851	0,297707
R1*Origem	11,701	1	11,701	2,1593	0,167436
R1*Tratamentos*Origem	0,521	1	0,521	0,0961	0,761917
Error	65,027	12	5,419		

16:00h

E

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	798,8304	1	798,8304	162,2569	0,000000
Blocos	15,8338	3	5,2779	1,0720	0,408577
Tratamentos	6,0098	1	6,0098	1,2207	0,297885
Origem	2,2612	1	2,2612	0,4593	0,515000
Tratamentos*Origem	0,0152	1	0,0152	0,0031	0,956888
Error	44,3092	9	4,9232		
R1	151,7732	1	151,7732	41,2187	0,000033
R1*Tratamentos	3,9567	1	3,9567	1,0746	0,320354
R1*Origem	0,0027	1	0,0027	0,0007	0,978909
R1*Tratamentos*Origem	1,7903	1	1,7903	0,4862	0,498909
Error	44,1857	12	3,6821		

gs

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	0,333438	1	0,333438	215,8098	0,000000
Blocos	0,025406	3	0,008469	5,4811	0,020290
Tratamentos	0,000602	1	0,000602	0,3898	0,547879
Origem	0,010326	1	0,010326	6,6833	0,029444
Tratamentos*Origem	0,000214	1	0,000214	0,1388	0,718122
Error	0,013906	9	0,001545		
R1	0,030412	1	0,030412	9,5692	0,009303
R1*Tratamentos	0,001026	1	0,001026	0,3227	0,580447
R1*Origem	0,003230	1	0,003230	1,0163	0,333283
R1*Tratamentos*Origem	0,002270	1	0,002270	0,7142	0,414597
Error	0,038137	12	0,003178		

A<sub>CO2</sub>

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	1188,178	1	1188,178	83,29041	0,000008
Blocos	33,998	3	11,333	0,79442	0,527179
Tratamentos	11,592	1	11,592	0,81261	0,390834
Origem	0,009	1	0,009	0,00063	0,980563



Tratamentos*Origem	0,216	1	0,216	0,01515	0,904744
Error	128,389	9	14,265		
R1	37,372	1	37,372	3,45384	0,087796
R1*Tratamentos	1,073	1	1,073	0,09917	0,758238
R1*Origem	2,392	1	2,392	0,22104	0,646677
R1*Tratamentos*Origem	3,710	1	3,710	0,34291	0,569004
Error	129,845	12	10,820		

---

**ANEXO VII.** ANOVA's das curvas de resposta à luz comparando-se os valores dos parâmetros entre as estações seca e chuvosa (Capítulo 2).

Rd	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	15709,16	1	15709,16	4,955923	0,053026
Blocos	983,60	3	327,87	0,103435	0,955987
Tratamentos	323,55	1	323,55	0,102072	0,756648
Origem	340,20	1	340,20	0,107327	0,750701
Tratamentos*Origem	331,32	1	331,32	0,104526	0,753850
Error	28527,97	9	3169,77		
R1	2806,44	1	2806,44	1,750329	0,210492
R1*Tratamentos	316,80	1	316,80	0,197584	0,664588
R1*Origem	2919,46	1	2919,46	1,820818	0,202125
R1*Tratamentos*Origem	316,41	1	316,41	0,197342	0,664780
Error	19240,52	12	1603,38		

$\alpha$	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	4180,81	1	4180,815	2,870404	0,124466
Blocos	2645,84	3	881,947	0,605515	0,627820
Tratamentos	0,01	1	0,012	0,000008	0,997792
Origem	0,00	1	0,000	0,000000	0,999891
Tratamentos*Origem	0,10	1	0,103	0,000071	0,993480
Error	13108,72	9	1456,525		
R1	5212,14	1	5212,141	3,981090	0,069227
R1*Tratamentos	0,00	1	0,000	0,000000	0,999614
R1*Origem	0,03	1	0,027	0,000021	0,996446
R1*Tratamentos*Origem	0,03	1	0,034	0,000026	0,996022
Error	15710,70	12	1309,225		

$A_{max}$	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	25608,11	1	25608,11	24,56317	0,000785
Blocos	2664,61	3	888,20	0,85196	0,499872
Tratamentos	0,20	1	0,20	0,00019	0,989293
Origem	19,69	1	19,69	0,01888	0,893723
Tratamentos*Origem	16,56	1	16,56	0,01588	0,902477
Error	9382,87	9	1042,54		
R1	1625,93	1	1625,93	1,72289	0,213871
R1*Tratamentos	0,38	1	0,38	0,00041	0,984262
R1*Origem	7,45	1	7,45	0,00789	0,930668
R1*Tratamentos*Origem	49,70	1	49,70	0,05266	0,822355
Error	11324,62	12	943,72		

$\theta$	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	4725,72	1	4725,718	3,281585	0,103486
Blocos	2516,57	3	838,855	0,582509	0,641256
Tratamentos	0,47	1	0,468	0,000325	0,986004
Origem	0,02	1	0,018	0,000012	0,997290
Tratamentos*Origem	0,36	1	0,362	0,000251	0,987697
Error	12960,64	9	1440,072		
R1	5052,47	1	5052,471	3,894953	0,071908
R1*Tratamentos	0,41	1	0,412	0,000317	0,986076

R1*Origem	0,00	1	0,002	0,000002	0,998968
R1*Tratamentos*Origem	0,41	1	0,409	0,000315	0,986130
Error	15566,21	12	1297,184		

$R_{dreal}$					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	5091,26	1	5091,257	3,594787	0,090466
Blocos	2550,69	3	850,231	0,600323	0,630830
Tratamentos	0,02	1	0,020	0,000014	0,997079
Origem	0,00	1	0,000	0,000000	0,999836
Tratamentos*Origem	0,19	1	0,190	0,000134	0,991018
Error	12746,60	9	1416,289		
R1	5078,06	1	5078,058	3,972454	0,069491
R1*Tratamentos	0,00	1	0,000	0,000000	0,999727
R1*Origem	0,31	1	0,307	0,000240	0,987892
R1*Tratamentos*Origem	0,00	1	0,000	0,000000	0,999643
Error	15339,81	12	1278,318		

$A_{maxreal}$					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	5929,15	1	5929,152	4,280324	0,068487
Blocos	2520,22	3	840,074	0,606459	0,627274
Tratamentos	0,00	1	0,000	0,000000	0,999748
Origem	0,02	1	0,019	0,000014	0,997091
Tratamentos*Origem	0,01	1	0,013	0,000009	0,997648
Error	12466,90	9	1385,211		
R1	4937,87	1	4937,869	3,954011	0,070057
R1*Tratamentos	0,00	1	0,000	0,000000	0,999733
R1*Origem	0,01	1	0,009	0,000007	0,997914
R1*Tratamentos*Origem	0,01	1	0,013	0,000010	0,997505
Error	14985,91	12	1248,825		

**ANEXO VIII.** Valores de ANOVA's para os pigmentos fotossintetizantes(Capítulo 2).

Clorofila a					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	109364,6	1	109364,6	1222,635	0,000000
Blocos	242,8	3	80,9	0,905	0,476180
Tratamentos	124,9	1	124,9	1,397	0,267588
Origem	112,7	1	112,7	1,260	0,290698
Tratamentos*Origem	10,1	1	10,1	0,113	0,743974
Error	805,0	9	89,4		
R1	3521,8	1	3521,8	23,354	0,000410
R1*Tratamentos	10,2	1	10,2	0,068	0,798757
R1*Origem	80,3	1	80,3	0,532	0,479677
R1*Tratamentos*Origem	13,0	1	13,0	0,086	0,773734
Error	1809,6	12	150,8		

Clorofila b					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	8083,320	1	8083,320	987,9689	0,000000
Blocos	46,826	3	15,609	1,9078	0,198860
Tratamentos	17,475	1	17,475	2,1359	0,177906
Origem	0,783	1	0,783	0,0956	0,764164
Tratamentos*Origem	12,915	1	12,915	1,5785	0,240605
Error	73,636	9	8,182		
R1	192,231	1	192,231	9,9097	0,008406
R1*Tratamentos	0,801	1	0,801	0,0413	0,842331
R1*Origem	0,001	1	0,001	0,0000	0,995418
R1*Tratamentos*Origem	7,339	1	7,339	0,3783	0,549979
Error	232,778	12	19,398		

Carotenos					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	6574,710	1	6574,710	1404,930	0,000000
Blocos	4,928	3	1,643	0,351	0,789580
Tratamentos	1,119	1	1,119	0,239	0,636582
Origem	4,360	1	4,360	0,932	0,359660
Tratamentos*Origem	0,368	1	0,368	0,079	0,785492
Error	42,118	9	4,680		
R1	95,268	1	95,268	11,023	0,006110
R1*Tratamentos	0,775	1	0,775	0,090	0,769713
R1*Origem	4,083	1	4,083	0,472	0,504957
R1*Tratamentos*Origem	2,881	1	2,881	0,333	0,574397
Error	103,714	12	8,643		

Clorofilas a +b/carotenos					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	850,4928	1	850,4928	7463,489	0,000000
Blocos	0,9119	3	0,3040	2,667	0,110998
Tratamentos	2,3805	1	2,3805	20,890	0,001346
Origem	0,0000	1	0,0000	0,000	0,988283
Tratamentos*Origem	0,0908	1	0,0908	0,796	0,395410
Error	1,0256	9	0,1140		
R1	2,6902	1	2,6902	15,544	0,001954
R1*Tratamentos	0,0005	1	0,0005	0,003	0,958595
R1*Origem	0,0001	1	0,0001	0,000	0,983013
R1*Tratamentos*Origem	0,2663	1	0,2663	1,539	0,238539
Error	2,0768	12	0,1731		

**ANEXO IX.** Valores de ANOVA's para os macronutrientes CA, Mg e K (Capítulo 2).

Ca					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	972,0743	1	972,0743	843,4766	0,000000
Blocos	5,9162	3	1,9721	1,7112	0,233817
Tratamentos	1,6065	1	1,6065	1,3940	0,267993
Origem	11,5801	1	11,5801	10,0481	0,011368
Tratamentos*Origem	0,0345	1	0,0345	0,0299	0,866554
Error	10,3722	9	1,1525		
R1	2,7437	1	2,7437	2,4668	0,142253
R1*Tratamentos	0,8483	1	0,8483	0,7627	0,399635
R1*Origem	5,4863	1	5,4863	4,9328	0,046357
R1*Tratamentos*Origem	0,5592	1	0,5592	0,5027	0,491847
Error	13,3467	12	1,1122		

Mg					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	286,3225	1	286,3225	5511,795	0,000000
Blocos	0,2049	3	0,0683	1,314	0,328822
Tratamentos	0,0003	1	0,0003	0,006	0,939874
Origem	0,0300	1	0,0300	0,578	0,466640
Tratamentos*Origem	0,0684	1	0,0684	1,318	0,280604
Error	0,4675	9	0,0519		
R1	0,0032	1	0,0032	0,031	0,864193
R1*Tratamentos	0,6328	1	0,6328	6,039	0,030184
R1*Origem	0,0006	1	0,0006	0,006	0,940320
R1*Tratamentos*Origem	0,0761	1	0,0761	0,726	0,410956
Error	1,2575	12	0,1048		

K					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	3004,094	1	3004,094	1110,633	0,000000
Blocos	12,820	3	4,273	1,580	0,261214
Tratamentos	2,744	1	2,744	1,014	0,340173
Origem	8,090	1	8,090	2,991	0,117785
Tratamentos*Origem	1,571	1	1,571	0,581	0,465515
Error	24,344	9	2,705		
R1	0,012	1	0,012	0,0134	0,909668
R1*Tratamentos	3,652	1	3,652	3,9532	0,070081
R1*Origem	0,002	1	0,002	0,0021	0,964081
R1*Tratamentos*Origem	0,276	1	0,276	0,2984	0,594892
Error	11,085	12	0,924		

**ANEXO X.** Valores de ANOVA's para os micronutrientes e alumínio (Capítulo 2).

B

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	39,11045	1	39,11045	3628,664	0,000000
Blocos	0,06333	3	0,02111	1,959	0,190862
Tratamentos	0,01984	1	0,01984	1,840	0,207949
Origem	0,04142	1	0,04142	3,843	0,081599
Tratamentos*Origem	0,00088	1	0,00088	0,081	0,781969
Error	0,09700	9	0,01078		
R1	0,03256	1	0,03256	3,618	0,081411
R1*Tratamentos	0,00110	1	0,00110	0,122	0,733064
R1*Origem	0,00637	1	0,00637	0,708	0,416405
R1*Tratamentos*Origem	0,00009	1	0,00009	0,010	0,923467
Error	0,10797	12	0,00900		

Cu

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	705,0013	1	705,0013	1465,953	0,000000
Blocos	5,5024	3	1,8341	3,814	0,051525
Tratamentos	0,0338	1	0,0338	0,070	0,796898
Origem	0,3828	1	0,3828	0,796	0,395518
Tratamentos*Origem	0,0276	1	0,0276	0,057	0,815995
Error	4,3283	9	0,4809		
R1	7,2390	1	7,2390	5,6618	0,034798
R1*Tratamentos	0,0325	1	0,0325	0,0254	0,875956
R1*Origem	0,5618	1	0,5618	0,4394	0,519945
R1*Tratamentos*Origem	0,0338	1	0,0338	0,0264	0,873547
Error	15,3430	12	1,2786		

Fe

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	251854,8	1	251854,8	659,6294	0,000000
Blocos	1141,8	3	380,6	0,9969	0,437544
Tratamentos	134,9	1	134,9	0,3533	0,566896
Origem	47,3	1	47,3	0,1239	0,732994
Tratamentos*Origem	43,9	1	43,9	0,1151	0,742197
Error	3436,3	9	381,8		
R1	94,9	1	94,9	0,3392	0,571086
R1*Tratamentos	13,9	1	13,9	0,0497	0,827271
R1*Origem	13,9	1	13,9	0,0497	0,827271
R1*Tratamentos*Origem	363,8	1	363,8	1,3007	0,276343
Error	3356,7	12	279,7		

Mn

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	72,83958	1	72,83958	2163,942	0,000000
Blocos	0,25475	3	0,08492	2,523	0,123416
Tratamentos	0,02411	1	0,02411	0,716	0,419323
Origem	0,12855	1	0,12855	3,819	0,082403
Tratamentos*Origem	0,00403	1	0,00403	0,120	0,737217
Error	0,30295	9	0,03366		
R1	0,00287	1	0,00287	0,241	0,632319
R1*Tratamentos	0,45161	1	0,45161	37,953	0,000049
R1*Origem	0,01023	1	0,01023	0,859	0,372174

R1*Tratamentos*Origem	0,00444	1	0,00444	0,373	0,552684
Error	0,14279	12	0,01190		

## Zn

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	43,48764	1	43,48764	33595,19	0,000000
Blocos	0,01408	3	0,00469	3,63	0,057930
Tratamentos	0,00075	1	0,00075	0,58	0,466718
Origem	0,02234	1	0,02234	17,26	0,002468
Tratamentos*Origem	0,00164	1	0,00164	1,27	0,289289
Error	0,01165	9	0,00129		
R1	0,68193	1	0,68193	314,24	0,000000
R1*Tratamentos	0,00080	1	0,00080	0,37	0,555200
R1*Origem	0,00613	1	0,00613	2,83	0,118610
R1*Tratamentos*Origem	0,00483	1	0,00483	2,22	0,161697
Error	0,02604	12	0,00217		

## Al

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	114912,2	1	114912,2	350,4397	0,000000
Blocos	1913,8	3	637,9	1,9455	0,192877
Tratamentos	47,0	1	47,0	0,1435	0,713636
Origem	392,0	1	392,0	1,1955	0,302632
Tratamentos*Origem	186,2	1	186,2	0,5680	0,470319
Error	2951,2	9	327,9		
R1	108,0	1	108,0	0,3775	0,550393
R1*Tratamentos	271,4	1	271,4	0,9485	0,349321
R1*Origem	616,0	1	616,0	2,1525	0,168050
R1*Tratamentos*Origem	1794,0	1	1794,0	6,2688	0,027723
Error	3434,1	12	286,2		