



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA- SOLOS E NUTRIÇÃO
DE PLANTAS

DAVID DE HOLANDA CAMPELO

CRESCIMENTO E TROCAS GASOSAS DE SEIS ESPÉCIES FLORESTAIS SOB
DOIS REGIMES HÍDRICOS NO PERÍMETRO IRRIGADO BAIXO ACARAÚ - CE

FORTALEZA

2014

DAVID DE HOLANDA CAMPELO

CRESCIMENTO E TROCAS GASOSAS DE SEIS ESPÉCIES FLORESTAIS SOB DOIS
REGIMES HÍDRICOS NO PERÍMETRO IRRIGADO BAIXO ACARAÚ - CE

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda

FORTALEZA

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- C196c Campelo, David de Holanda.
Crescimento e trocas gasosas de seis espécies florestais sob dois regimes hídricos no
perímetro irrigado baixo Acaraú – Ce / David de Holanda Campelo . – 2014.
116 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias,
Departamento de Ciências do Solo, Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Solos e Nutrição
de Plantas, Fortaleza, 2014.
Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.
Orientação: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda.
Coorientação: Dr. João Alencar de Sousa (Pesq. Embrapa).
1. Estresse hídrico. 2. Plantas arbóreas. 3. Água no solo. I. Título.

CDD 631.4

DAVID DE HOLANDA CAMPELO

CRESCIMENTO E TROCAS GASOSAS DE SEIS ESPÉCIES FLORESTAIS SOB DOIS
REGIMES HÍDRICOS NO PERÍMETRO IRRIGADO BAIXO ACARAÚ - CE

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Solos e Nutrição de Plantas.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. João Alencar de Sousa
Embrapa Agroindústria Tropical

Prof. Dr. Antônio Marcos Esmeraldo Bezerra
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr^a. Antônia Leila Rocha Neves
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico este trabalho a minha família e em especial meus pais Joaquim Reinaldo e Maria das Graças, que me trouxeram com todo o amor e carinho a este mundo, me deram a vida e me ensinaram a vivê-la com dignidade, vocês são o que eu tenho de mais precioso nessa vida.

Ofereço e dedico.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Ceará – UFC, pela seriedade com que assume a função de ensinar.

Ao programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Pela oportunidade concedida para estudar e aprimorar meus conhecimentos;

A Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas pelo apoio prestado durante a realização deste curso, assim como ao corpo docente pelos conhecimentos transmitidos;

A CAPES pela concessão da bolsa de estudo durante o curso;

A Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará (ADECE), Banco do Nordeste (BNB) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) pelo suporte financeiro;

A Embrapa Florestas, Embrapa Agroindústria Tropical e Departamento Nacional de Obras contra as Secas (DNOCS) pelo apoio na realização do trabalho;

Aos demais parceiros do trabalho, Sindicato das Indústrias de Móveis do Ceará (Sindmóveis), Federação das Indústrias do Estado do Ceará – FIEC / Instituto de Desenvolvimento Industrial do Ceará (INDI) e Fabricantes Associados de Marco (FAMA);

Ao Professor Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda, pela amizade, orientação e confiança em mim depositada, meu profundo respeito e sincera admiração;

Ao Dr. João Alencar De Sousa, pela grande contribuição que deu para que o trabalho fosse realizado e pelo grande amigo que se tornou minha sincera gratidão;

Ao Professor Dr. Antônio Marcos Esmeraldo Bezerra, pela orientação das análises estatísticas e sugestões dadas durante o trabalho, obrigado por compartilhar seus conhecimentos;

A Dr. Antônia Leila Rocha Neves, pela sua disponibilidade e colaboração para a realização deste trabalho;

Aos meus companheiros de trabalho Dionis Araújo, Carlos Henrique, Louro, Damião e Neto por todo o apoio e ajuda que deram e que fizeram com que exaustivos trabalhos se tornassem momentos de muita diversão e alegria;

Aos amigos do Departamento de Ciências do solo, Fitotecnia, Engenharia Agrícola e da “Vila”, seria injusto citar o nome de um sem citar a todos, pelo companheirismo e bons momentos que levarei pra sempre em minha memória.

A meus pais Joaquim Reinaldo, Maria das Graças e meus irmãos Jardel, Thenise e Holanda Neto e toda família que apesar de separados pela distância é a base que me sustenta e mantém vivo, feliz e forte diante as adversidades da vida.

“Saber muito não lhe torna inteligente. A inteligência se traduz na forma que você recolhe, julga, maneja e, sobretudo, onde e como aplica esta informação”.

Carl Sagan

RESUMO

A atividade florestal tem crescido nos últimos anos movimentada pela crescente participação nas exportações nacionais. A demanda de novas áreas cresce a cada ano, e em algumas microrregiões o mercado de madeira apresenta importância local como é o caso do Polo moveleiro de Marco localizado no estado do Ceará. Porém essa região apresenta como principal empecilho para o plantio de espécies arbóreas as características de baixa disponibilidade hídrica que desponta como um dos principais assuntos discutidos em relação aos impactos das mudanças climáticas, principalmente em regiões áridas e semiáridas. Com o objetivo de avaliar o efeito do estresse hídrico no desenvolvimento de plantas arbóreas, foi conduzido um experimento com seis espécies florestais: *Astronium fraxinifolium* (Gonçalo Alves), *Calophyllum brasiliense* Cambess. (Guanandi), *Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nich. (Ipê-amarelo), *Tabebuia impetiginosa* (Ipê-rosa), *Simarouba amara* Aubl. (Marupá) e *Swietenia macrophylla* King. (Mogno) em condições irrigadas e de sequeiro. O experimento foi conduzido no município de Acaraú, Ceará, Brasil (03°27'06''S; 40°08'48''W, 20m). Foram avaliadas variáveis de umidade do solo, trocas gasosas, eficiência no uso da água, temperatura da folha, eficiência fotossintética no uso de nitrogênio e fósforo, índice SPAD, fluorescência da clorofila, área foliar específica, grau de suculência foliar, altura da planta, diâmetro do caule e taxas de crescimento absoluto e relativo. O déficit hídrico ocasionado pela sazonalidade das chuvas induz reduções na taxa de fotossíntese, condutância estomática e transpiração. As plantas em condição de restrição hídrica aumentam a eficiência intrínseca e momentânea do uso de água no período mais seco. Nas épocas secas as plantas irrigadas controlam melhor a temperatura da folha mantendo-as mais baixas do que a do ar. A relação interna/externa de CO₂ foi afetada negativamente no mogno, guanandi e ipê-amarelo na época mais seca. A eficiência fotossintética do uso do nitrogênio e fósforo é reduzida pelo déficit hídrico. A baixa disponibilidade de água no solo reduz a eficiência quântica do fotossistema II no mogno e no guanandi. O índice SPAD é reduzido na época mais seca no mogno, guanandi e ipê-amarelo. As espécies ipê-amarelo, ipê-rosa e marupá irrigadas até 1 ano, mantiveram um padrão de altura e diâmetro do caule superior às plantas irrigadas permanentemente no período de 24 meses. O estresse hídrico ocasiona quedas nas taxas de crescimento absoluto e relativo em altura e diâmetro nas seis espécies estudadas. O marupá e o ipê-amarelo são menos sensíveis ao efeito do déficit hídrico, enquanto que o mogno, guanandi e gonçalo alves são mais afetadas.

Palavras-chave: Estresse hídrico. Plantas arbóreas. Água no solo.

ABSTRACT

The forestry activities have grown in recent years by busy growing participation in national exports. The demand for new areas grows every year, and some microregions wood is local importance such as the furniture Marco Polo located in the state of Ceará, but the region is the main hindrance to the planting of tree species characteristics of low water availability that emerges as one of the main issues discussed in relation to the impacts of climate change, especially in arid and semiarid regions where the temperature increase being associated with events of strong reduction of the rainfall and increased evaporation. In order to evaluate the effect of water stress on the development of woody plants, an experiment was conducted with six forest species *Astronium fraxinifolium*, *Calophyllum brasiliense* Cambess., *Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nich., *Tabebuia impetiginosa*, *Simarouba amara* Aubl. and *Swietenia macrophylla* King. in irrigated and rainfed conditions. The experiment was conducted in the municipality of Acaraú, Ceará, Brazil (03 ° 27 ' 06" S 40 ° 08 ' 48" W. 20m). Variable soil moisture, gas exchange, water use efficiency, leaf temperature, photosynthetic efficiency in the use of nitrogen and phosphorus, SPAD index, chlorophyll fluorescence, specific leaf area, leaf degree of juiciness, and plant height were evaluated stem diameter and exchange absolute and relative growth. Water deficit caused by seasonal rains induces reductions in the rate of photosynthesis, stomatal conductance and transpiration. Plants on condition of water restriction and momentary increase the intrinsic efficiency of water use in the dry season. In the dry season plants irrigated better control the temperature of the sheet holding lower than that of air. The internal/external ratio of CO₂ was negatively affected in mogno, guanandi and ipê-amarelo in the driest season. The photosynthetic efficiency of use of nitrogen and phosphorus is reduced by water deficit. The low availability of water in the soil reduces the quantum efficiency of photosystem II in mogno and guanandi. The SPAD index is reduced to the driest period in mogno, guanandi and ipê-amarelo. The species ipê-amarelo, ipê-rosa and marupá irrigated to 1 year, maintained a standard height and diameter of the upper stem to plants irrigated permanently within 24 months. Water stress causes declines in absolute and relative rates of growth in height and diameter in all six species. Growth rates follow the seasonal variation of precipitation in non-irrigated plants.

Keywords: Water stress. Woody plants. Soil water

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área experimental. Acaraú-CE, 2013.....	30
Figura 2 - Médias mensais de precipitação pluviométricas no período de outubro de 2010 a outubro de 2013, no município de Acaraú - CE.....	30
Figura 3 - Gonçalo Alves (<i>Astronium fraxinifolium</i>). Acaraú-CE, 2013.....	32
Figura 4 - Guanandí (<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.). Acaraú-CE, 2013.....	34
Figura 5 - Ipê-Amarelo (<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl.) Nich.). Acaraú-CE, 2013.....	35
Figura 6 - Ipê-Rosa (<i>Tabebuia impetiginosa</i>). Acaraú-CE, 2013.	36
Figura 7 - Marupá (<i>Simarouba amara</i> Aubl.). Acaraú-CE, 2013.	38
Figura 8 - Mogno (<i>Swietenia macrophylla</i> King). Acaraú-CE, 2013.	39
Figura 9 - Croqui da sub - parcela. Acaraú-CE, 2013.....	42
Figura 10 -Perfil da umidade do solo nas áreas irrigadas e de sequeiro plantadas com Mogno (<i>Swietenia macrophylla</i> King), Guanandí (<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.) e Gonçalo Alves (<i>Astronium fraxinifolium</i>) nos períodos seco e chuvoso. Acaraú-CE, 2013.....	48
Figura 11 -Perfil de umidade do solo nas áreas irrigadas e de sequeiro plantadas com Marupá (<i>Simarouba amara</i> Aubl.), Ipê-Amarelo (<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl.) Nich.) e Ipê-Rosa (<i>Tabebuia impetiginosa</i>) nos períodos seco e chuvoso. Acaraú-CE, 2013.....	49
Figura 12 -Taxa fotossintética (A) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função das épocas nos períodos da manhã (A) e tarde (B). Acaraú-CE, 2013.....	54
Figura 13 -Taxa fotossintética (A) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro nos meses de novembro, fevereiro e maio no período da tarde. Acaraú-CE, 2013.	56
Figura 14 - Condutância estomática (g_s) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função das épocas nos períodos da manhã (A) e tarde (B). Acaraú-CE, 2013.....	58
Figura 15 -Taxa de transpiração (E) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função das épocas nos períodos da manhã (A) e tarde (B). Acaraú-CE, 2013.....	60

Figura 16 -Taxa de transpiração (E) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro nos meses de novembro, fevereiro e maio no período da tarde. Acaraú-CE, 2013.	62
Figura 17 -Eficiência intrínseca no uso da água (A/g_s) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro nos meses de novembro, fevereiro e maio no período da manhã. Acaraú-CE, 2013.	63
Figura 18 -Eficiência intrínseca no uso da água (A/g_s) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro nos meses de novembro, fevereiro e maio no período da tarde. Acaraú-CE, 2013.....	64
Figura 19 -Eficiência momentânea no uso da água (A/E) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro nos meses de novembro, fevereiro e maio no período da manhã. Acaraú-CE, 2013.....	64
Figura 20 -Eficiência momentânea do uso de água (A/E) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função das épocas nos períodos da manhã (A) e tarde (B). Acaraú-CE, 2013.	66
Figura 21 -Relação interna/externa de CO_2 (C_i/C_a) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro nos meses de novembro, fevereiro e maio no período da manhã (A) e tarde (B). Acaraú-CE, 2013.....	69
Figura 22 - Temperatura da folha (T_{leaf}) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro nos meses de novembro, fevereiro e maio no período da manhã. Acaraú-CE, 2013.....	71
Figura 23 – Temperatura da folha (T_{leaf}) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função das épocas nos períodos da manhã (A) e tarde (B). Acaraú-CE, 2013.....	72
Figura 24 - Relação entre a temperatura da folha (T_{leaf}) e temperatura do ar em função das épocas em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro. Acaraú-CE, 2013.	73
Figura 25 – Eficiência fotossintética do uso de nitrogênio (A/N) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função das épocas. Acaraú-CE, 2013.....	75
Figura 26 - Eficiência fotossintética do uso de fósforo (A/P) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função das épocas. Acaraú-CE, 2013.....	76

- Figura 27** - Índice SPAD em seis espécies arbóreas em função do regime hídrico (A) e época (B). Acaraú-CE, 2013. **78**
- Figura 28** - Fluorescência da clorofila *a* em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função das épocas. Acaraú-CE, 2013..... **81**
- Figura 29** - Área foliar específica em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função das épocas. Acaraú-CE, 2013..... **83**
- Figura 30** - Grau de suculência foliar (GS) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função das épocas. Acaraú-CE, 2013..... **85**
- Figura 31** - Altura da planta em Mogno (*Swietenia macrophylla* King), Guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess.), Gonçalves Alves (*Astronium fraxinifolium*), Marupá (*Simarouba amara* Aubl.), Ipê-Amarelo (*Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nich.) e Ipê-Rosa (*Tabebuia impetiginosa*), submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função do tempo. Acaraú-CE, 2013. **87**
- Figura 32** – Diâmetro do caule em Mogno (*Swietenia macrophylla* King), Guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess.), Gonçalves Alves (*Astronium fraxinifolium*), Marupá (*Simarouba amara* Aubl.), Ipê-Amarelo (*Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nich.) e Ipê-Rosa (*Tabebuia impetiginosa*), submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função do tempo. Acaraú-CE, 2013. **88**
- Figura 33** – Taxa de crescimento absoluto em altura (TCA (H)) em Mogno (*Swietenia macrophylla* King), Guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess.), Gonçalves Alves (*Astronium fraxinifolium*), Marupá (*Simarouba amara* Aubl.), Ipê-Amarelo (*Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nich.) e Ipê-Rosa (*Tabebuia impetiginosa*) submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função do tempo. Acaraú-CE, 2013..... **91**
- Figura 34** - Taxa de crescimento absoluto em diâmetro (TCA (D)) em Mogno (*Swietenia macrophylla* King), Guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess.), Gonçalves Alves (*Astronium fraxinifolium*), Marupá (*Simarouba amara* Aubl.), Ipê-Amarelo (*Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nich.) e Ipê-Rosa (*Tabebuia impetiginosa*) submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função do tempo. Acaraú-CE, 2013..... **92**
- Figura 35** - Taxa de crescimento relativo em altura (TCR (H)) em Mogno (*Swietenia macrophylla* King), Guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess.), Gonçalves Alves (*Astronium fraxinifolium*), Marupá (*Simarouba amara* Aubl.), Ipê-Amarelo (*Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nich.) e Ipê-Rosa (*Tabebuia*

impetiginosa) submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função do tempo. Acaraú-CE, 2013..... **93**

Figura 36 - Taxa de crescimento relativo em diâmetro (TCR (D)) em Mogno (*Swietenia macrophylla* King), Guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess.), Gonçalo Alves (*Astronium fraxinifolium*), Marupá (*Simarouba amara* Aubl.), Ipê-Amarelo (*Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nich.) e Ipê-Rosa (*Tabebuia impetiginosa*) submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função do tempo. Acaraú-CE, 2013..... **94**

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Caracterização química do solo da área experimental. Acaraú-CE, 2013. **31**
- Tabela 2** - Caracterização física do solo da área experimental. Acaraú-CE, 2013..... **31**
- Tabela 3** - Resumo da análise de variância para as variáveis: taxa fotossintética (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E), eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) e eficiência momentânea do uso da água (A/E) no período da manhã em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro nas épocas nos meses de novembro, fevereiro e maio. Acaraú-CE, 2013..... **52**
- Tabela 4** -Resumo da análise de variância para as variáveis: taxa fotossintética (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E), eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) e eficiência momentânea do uso da água (A/E) no período da tarde em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro nos meses de novembro, fevereiro e maio. Acaraú-CE, 2013..... **53**
- Tabela 5** - Resumo da análise de variância para as variáveis: relação interno/externo de CO_2 (C_i/C_a) e temperatura da folha (T_{leaf}) no período da manhã em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro nos meses de novembro, fevereiro e maio. Acaraú-CE, 2013..... **68**
- Tabela 6** - Resumo da análise de variância para as variáveis: relação interno/externo de CO_2 (C_i/C_a) e temperatura da folha (T_{leaf}) no período da tarde em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro nos meses de novembro, fevereiro e maio. Acaraú-CE, 2013..... **68**
- Tabela 7** - Resumo da análise de variância para as variáveis eficiência fotossintética do uso no nitrogênio (A/N) e fósforo (A/P) no período da tarde em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro nos meses de novembro, fevereiro e maio. Acaraú-CE, 2013. **74**
- Tabela 8** – Médias dos teores de nitrogênio, fósforo e eficiência fotossintética no uso de N e P em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função das épocas. Acaraú-CE, 2013..... **76**
- Tabela 9** - Resumo da análise de variância para o índice SPAD em seis espécies arbóreas em condições irrigadas e de sequeiro em função das épocas. Acaraú-CE, 2013..... **77**

Tabela 10 -Resumo da análise de variância para a fluorescência da clorofila <i>a</i> em seis espécies arbóreas em condições irrigadas e de sequeiro em função das épocas. Acaraú-CE, 2013.....	80
Tabela 11 -Resumo da análise de variância para as variáveis de área foliar específica (AFE) e grau de suculência foliar (GS) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função das épocas. Acaraú-CE, 2013...	83
Tabela 12 - Resumo da análise de variância para as variáveis de altura da planta e diâmetro do caule para seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função do tempo. Acaraú-CE, 2013.....	86
Tabela 13 -Resumo da análise de variância para as variáveis de taxa de crescimento absoluto em altura e diâmetro e taxa de crescimento relativo em altura e diâmetro para seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função do tempo. Acaraú-CE, 2013.....	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AFE – ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA

DAP – DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO

GS – GRAU DE SUCULÊNCIA FOLIAR

TCA (D) – TAXA DE CRESCIMENTO ABSOLUTO EM DIÂMETRO

TCA (H) – TAXA DE CRESCIMENTO ABSOLUTO EM ALTURA

TCR (D) – TAXA DE CRESCIMENTO RELATIVO EM DIÂMETRO

TCR (H) - TAXA DE CRESCIMENTO RELATIVO EM ALTURA

LISTA DE SÍBOLOS

A – TAXA DE ASSIMILAÇÃO LÍQUIDA DE CO_2

A/E – EFICIÊNCIA MOMENTÂNEA DO USO DE ÁGUA

A/g_s - EFICIÊNCIA INTRÍNSECA DO USO DE ÁGUA

A/N – EFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA DO USO DE NITROGÊNIO

A/P – EFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA DO USO DE FÓSFORO

C_i/C_a – RELAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO INTERNA/EXTERNA DE CO_2

E – TAXA DE TRANSPIRAÇÃO

F_v/F_m – EFICIÊNCIA QUÂNTICA DO FOTOSISTEMA II

g_s - CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA

T_{leaf} – TEMPERATURA DA FOLHA

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	21
2.1. Aspectos econômicos do setor florestal.....	21
<i>2.1.1. Setor florestal no Brasil.....</i>	<i>21</i>
<i>2.1.2. Setor florestal na região Nordeste.....</i>	<i>22</i>
2.2. Estresse hídrico em plantas arbóreas	23
2.3. Efeitos morfofisiológicos causados pelo estresse hídrico.....	25
<i>2.3.1. Efeitos no crescimento.....</i>	<i>25</i>
<i>2.3.2. Efeitos nas trocas gasosas</i>	<i>26</i>
<i>2.3.3. Efeitos no teor de clorofila (Índice SPAD).....</i>	<i>27</i>
<i>2.3.4. Efeitos na fluorescência da clorofila</i>	<i>27</i>
<i>2.3.5. Efeito na eficiência fotossintética do uso de nitrogênio e fósforo</i>	<i>28</i>
3. MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1. Localização caracterização da área experimental	29
3.2. Espécies utilizadas	31
<i>3.2.1. Gonçalo Alves (Astronium fraxinifolium).....</i>	<i>31</i>
<i>3.2.2. Guanandí (Calophyllum brasiliense Cambess.).....</i>	<i>33</i>
<i>3.2.3. Ipê-Amarelo (Tabebuia serratifolia (Vahl.)Nich.)</i>	<i>34</i>
<i>3.2.4. Ipê-Rosa (Tabebuia impetiginosa).....</i>	<i>36</i>
<i>3.2.5. Marupá (Simarouba amara Aubl.)</i>	<i>37</i>
<i>3.2.5. Mogno (Swietenia macrophylla King).....</i>	<i>39</i>
3.3. Delineamento experimental e Tratamentos	40
3.4. Instalação e condução do experimento	41
<i>3.4.1. Produção das mudas.....</i>	<i>41</i>
<i>3.4.2. Implantação e condução</i>	<i>41</i>
<i>3.4.3. Manejo da irrigação</i>	<i>42</i>
<i>3.4.3. Épocas de avaliação.....</i>	<i>43</i>
3.5. Variáveis analisadas	43
<i>3.5.1. Umidade do solo.....</i>	<i>43</i>
<i>3.5.2. Trocas gasosas</i>	<i>43</i>
<i>3.5.3. Índice SPAD</i>	<i>44</i>

3.5.4. <i>Fluorescência da clorofila-a</i>	44
3.5.5. <i>Área foliar específica e grau de suculência</i>	45
3.5.6. <i>Teor de nitrogênio e fósforo das folhas</i>	45
3.5.7. <i>Análise de crescimento</i>	46
3.6. Análises estatísticas	47
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1. Umidade do solo	47
4.2. Trocas gasosas	52
4.2.1. <i>Taxa de fotossíntese (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E) e eficiência do uso da água</i>	52
4.2.2. <i>Relação da concentração interna e externa de CO_2 (C_i/C_a) e temperatura da folha (T_{leaf})</i>	67
4.2.3. <i>Eficiência fotossintética do uso no nitrogênio (A/N) e fósforo (A/P)</i>	74
4.3. Índice SPAD	77
4.4. Fluorescência da clorofila (Eficiência quântica do fotossistema II)	80
4.5. Área foliar específica e grau de suculência foliar	82
4.6. Análise de crescimento	85
4.6.1. <i>Altura da planta e diâmetro do caule</i>	85
4.6.2. <i>Taxa de crescimento absoluto (TCA) e taxa de crescimento relativo (TCR)</i>	89
5. CONCLUSÕES	97
6. REFERÊNCIAS	99

1. INTRODUÇÃO

Atualmente o setor de produtos florestais plantados no Brasil vem aumentando a participação nas exportações e representa grande importância na geração de empregos. Segundo dados da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas, as exportações no ano de 2011 somaram o montante de US\$ 7,97 bilhões, que corresponde a 3,1% do total do Brasil. As importações totalizaram US\$ 2,0 bilhões, totalizando assim um saldo de US\$ 5,73 bilhões na balança comercial, 19,2% do total do Brasil (ABRAF, 2012). No Mundo a área total plantada é aproximadamente 50 milhões de hectares nas regiões tropicais, com uma taxa de novos plantios de cerca de 3 milhões de hectares por ano (STAPE *et al.*, 2004).

No Brasil o principal setor que se destaca no ramo é a da produção de celulose que corresponde a cerca de 37,5% de toda a madeira produzida, com destaque para as espécies eucalipto e pinus as quais correspondem a maior área de florestas plantadas. Em seguida destacam-se a produção de serrados com 15,8%, painéis com 7,8% e compensados com 3,5% do consumo da madeira. A produção de lenha, carvão vegetal e outros derivados florestais representam os 35,4% restantes. (ABRAF, 2012). Em área plantada os estados de Minas Gerais (22,9%), Paraná (14,9%), São Paulo (14,3%) e Bahia (13,3%) se destacam sendo os maiores produtores e correspondem a mais da metade da produção de madeira no Brasil (ABRAF, 2012).

A grande tendência de crescimento do setor florestal no Brasil faz com que se discutam melhores formas de viabilizar a produtividade de espécies florestais o que mostra que maiores investimentos em pesquisa nesse setor se tornam necessários. Apesar de apresentar grande produtividade em espécies como o eucalipto e pinus na maioria das regiões, ainda são escassas pesquisas que viabilizem a produção de outras espécies de potencial madeireiro e em regiões que representam novas fronteiras para expansão do setor florestal como o Nordeste.

Há um grande número de espécies com potencial madeireiro ainda pouco estudado (ZENID, 2000; IPEF, 2013) e essa grande diversidade de espécies promissoras necessitam de melhores pesquisas quanto à eficiência na produção de madeira para os diferentes setores florestais. Fatores como adaptação as diferentes tipos de clima e solo ainda são temas de estudos escassos e pouco aprofundados para a maioria das espécies florestais, principalmente para regiões onde a atividade florestal apresenta importância local como é o caso da região do baixo Acaraú no estado do Ceará. Existem poucas informações de espécies

nativas e que se conhece que são adaptadas ao clima dessa região e que atendam às necessidades para fins econômicos. O elevado déficit hídrico e má distribuição de chuvas e os solos rasos com pouca capacidade de retenção de água e baixos teores de nutrientes e matéria orgânica, são alguns dos aspectos que necessitam ser pesquisados.

Dentre os aspectos importantes a serem estudados está à deficiência hídrica, considerando que o clima da região apresenta precipitação média anual de 900 mm e evaporação média anual de 1.600 mm e é caracterizada pela irregularidade das chuvas (DNOCS, 2013). Dessa forma, nessas condições a evaporação excede a precipitação resultando em um déficit hídrico na maior parte do ano.

A condição de deficiência hídrica é limitante ao desenvolvimento das plantas afetando vários processos metabólicos nas plantas como o processo de expansão celular, o fechamento estomático, redução da fotossíntese e transpiração, refletindo diretamente no desenvolvimento vegetativo das plantas.

O conhecimento dos aspectos ecofisiológicos é de grande importância para se avaliar quanto as espécies são influenciadas pelo estresse hídrico, pelo clima e pelas condições do solo, que reflete diretamente no crescimento e desenvolvimento das plantas. Portanto, o maior aprofundamento dos estudos fisiológicos de espécies submetidas ao clima da região semiárida, principalmente observando os efeitos do estresse hídrico, é de grande interesse para aprimorar os estudos em espécies arbóreas para fins de produção de madeira no Nordeste.

O presente estudo tem como objetivo geral avaliar o efeito do estresse hídrico no desenvolvimento das espécies Gonçalo Alves (*Astronium fraxinifolium*); Guanandí (*Calophyllum brasiliense* Cambess.); Ipê –Amarelo (*Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nich.); Ipê-Rosa (*Tabebuia impetiginosa*); Marupá (*Simarouba amara* Aubl.) e Mogno (*Swietenia macrophylla* King), sob condições de sequeiro e irrigado no Perímetro Irrigado do Baixo Acaraú, Ceará, por meio das respostas fisiológicas e medidas de crescimento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos econômicos do setor florestal

2.1.1. Setor florestal no Brasil

O setor florestal pode ser visto como uma atividade estratégica para o desenvolvimento do Brasil, tanto para a agroindústria quanto para o setor energético, tendo potencial para o suprimento do mercado interno e para exportação. Esse grande potencial deve-se as condições climáticas favoráveis e a grande disponibilidade de áreas para a atividade. Em síntese, o Brasil pode ampliar sua área de florestas plantadas dos atuais 7 milhões de ha (eucalipto, pinus e outras espécies plantadas) para cerca de 15 a 16 milhões, em 10 anos, o que demandaria investimentos da ordem de R\$ 40 bilhões (ou aproximadamente US\$ 20 bilhões) e geraria cerca de 200 mil empregos no meio rural. Em paralelo, será necessário o desenvolvimento dos diversos segmentos da indústria consumidora de madeira (toras industriais, madeira serrada, painéis de madeira, celulose, papel e bioenergia da madeira), o que poderia representar investimentos da ordem de US\$ 80 bilhões, até 2020, e a geração de mais 800.000 empregos, nos meios urbano e rural (ABRAF, 2012).

O conjunto de segmentos de madeira processada mecanicamente (exceto móveis), papel e celulose exportaram USD 7,9 bilhões, um crescimento de 5,2% sobre os USD 7,5 bilhões exportados no ano anterior. Da mesma forma, a participação do setor florestal na balança comercial nacional também foi significativa, representando 19,2% do saldo total. Apesar dos ótimos resultados econômicos nos últimos anos, a indústria nacional de base florestal enfrentou problemas sistêmicos de competitividade, como a sobrevalorização cambial, elevada carga tributária e problemas de infraestrutura (ABRAF, 2012). O grande entrave para o desenvolvimento desse setor no Brasil é ainda hoje a falta de instituições adequadas para organizar e desenvolver as atividades do setor com eficiência econômica, segurança jurídico-legal e respeito ao meio ambiente.

Excluindo o segmento da celulose, que apresenta alta produtividade, pode-se afirmar que o país está longe de aproveitar todo o seu potencial em termos de indústria de base florestal, tanto no que diz respeito ao mercado doméstico, quanto em relação à geração de divisas por meio da exportação de diferentes produtos de origem florestal. Recentemente, o Brasil está ingressando no comércio internacional de pellets de madeira, exportando o produto

para a Europa, mercado que está crescendo aceleradamente (20% a.a.). O mercado mundial de biomassa combustível, no entanto, é hoje insignificante (0,2% do consumo mundial), mas tende a adquirir importância se aumentarem as restrições ao consumo de combustíveis fósseis nos países desenvolvidos (BRASIL, 2011).

Por apresentar condições favoráveis para o desenvolvimento de florestas plantadas, o Brasil apresenta-se como uma futura potência no setor com ampla capacidade de expansão de áreas plantadas e produtividade. Políticas de investimentos em pesquisas e desenvolvimento, a verticalização do setor e a qualificação de mão-de-obra empregada na atividade são fatores-chaves para a obtenção de melhor produtividade e conseqüentemente a evolução do setor no país. No ponto de vista ambiental o plantio de florestas no Brasil também se mostra estratégico na captura de CO₂, preservação da biodiversidade, prestação de serviços ambientais remunerados, geração de créditos de carbono, proteção dos mananciais, e produção de insumo energético limpo, e do ponto de vista social, como gerador de investimentos, emprego e renda.

2.1.2. Setor florestal na região Nordeste

A região Nordeste detém a terceira maior área de florestas plantadas, com cerca de 13% do total nacional, além de abrigar uma indústria de celulose e papel expressiva, que continua em ampliação. A expansão das florestas plantadas se dá especialmente na Bahia e, mais recentemente, no Piauí e no Maranhão. Em Pernambuco, principal estado produtor de gesso do País, o significativo consumo de lenha de origem nativa e clandestina indica a necessidade de intervenção governamental no sentido de estimular o plantio de espécies apropriadas para fins energéticos. Na produção de carvão vegetal oriundo de florestas plantadas, o Nordeste apresentou um crescimento em torno de 9% ao ano entre 1990 e 2008, e participa com cerca de 13% na produção de carvão vegetal do país (BRASIL, 2011).

A região Nordeste apresenta como vantagem para a atividade florestal o atrativo de investimentos pelos baixos preços das terras, incentivos estaduais, exportações favorecidas pela proximidade dos mercados consumidores e o maior crescimento projetado em área reflorestada e capacidade industrial instalada. Como desvantagens e desafios pode-se destacar a falta de mão de obra qualificada, infraestrutura pouco desenvolvida, mercado regional de madeira pouco desenvolvido e a dificuldade em obter boas produtividades florestais (BRASIL, 2011). O território nordestino, em grande parte, apresenta vínculo de dependência

socioeconômica e ambiental com os recursos florestais, particularmente da caatinga (formação típica do semiárido) embora haja outros tipos de vegetação nesta região. As fontes de base florestal correspondem a cerca de 30 a 50% da matriz energética da região (CAMPELLO *et al.*, 1999). Preocupa as autoridades ambientais a intensificação da extração de lenha para uso industrial (gesso, cerâmica vermelha etc.) e da produção de carvão a partir de biomassa extraída de forma não sustentável da caatinga (BRASIL, 2011).

No estado do Ceará, incentivos estaduais como o Programa Estadual de Florestas, busca desenvolver a atividade florestal nos municípios, o reflorestamento, a instalação de bancos de sementes e viveiros, produção de mudas e o incremento da reposição florestal no estado, estimulando a implantação de florestas visando o aumento da produção de biomassa, proteção dos mananciais e do solo (CEARÁ, 2004).

O desenvolvimento da atividade florestal no Ceará, apesar dos incentivos estaduais, ainda é um grande desafio visto que o estado não tem a tradição nesse setor em comparação com os outros estados. O modelo exploratório de madeira ainda se mostra pouco desenvolvido, sendo maior parte para a produção energética usada como lenha e carvão para as atividades industriais como (gesso, cerâmica vermelha, etc.), na maioria das vezes insustentável. Do ponto de vista agroindustrial, no setor de madeira serrada e painéis de madeira, a atividade é bastante recente, mais vem crescendo em demanda principalmente por meio dos polos moveleiros que representam importância econômica local em alguns municípios do estado localizados principalmente nos municípios de Fortaleza, Juazeiro do Norte, Maracanaú, Iguatu, Marco, Caucaia, Bela Cruz e Crato. O Ceará está se consolidando como o maior polo moveleiro do Nordeste. Sua participação nos mercados regional e nacional vem crescendo consideravelmente nos últimos anos, bem como o número de indústrias especializadas na produção de móveis (SCIPIÃO, 2004; SEBRAE, 2008).

A produção moveleira ainda utiliza madeira maciça provenientes de outras regiões como do Pará, Minas Gerais e Paraná, o que obriga um maior investimento na produção de madeira no estado visando à diminuição de custos de produção para as indústrias locais e a viabilidade das indústrias ligadas ao setor madeireiro (SEBRAE, 2008).

2.2. Estresse hídrico em plantas arbóreas

Estresse é um fator externo que exerce uma influência desvantajosa à planta. (TAIZ; ZEIGER, 2013), induzindo respostas em todos os níveis do organismo, podendo ser

reversíveis ou permanentes. Lechinoski *et al.* (2007), definem o estresse como uma pressão excessiva de algum fator adverso que apresenta a tendência de inibir o normal funcionamento dos sistemas.

Na produção agrícola o estudo da resposta das plantas ao estresse hídrico desponta como sendo um dos principais assuntos a serem discutido visto a importância para o aumento da produção agrícola, mesmo nas áreas de máxima produtividade onde é fator limitante da produção vegetal (BRUCE *et al.*, 2002).

O estresse hídrico pode leva as plantas a uma inicial desestabilização de funções, seguida por uma normalização e o desenvolvimento de resistência. No entanto, se os limites de tolerância são excedidos, e a capacidade adaptativa é suplantada, o resultado são danos permanentes ou frequentemente a morte (PAHLICH, 1993). As respostas das plantas ao estresse podem ser entendidas de acordo com o grau de exposição a determinado estresse: a adaptação que é a resistência genética adquirida por processo de seleção durante muitas gerações; a aclimatação pode ser entendida como a tolerância aumentada como consequência de exposição anterior ao estresse e a tolerância que é a aptidão de uma planta para enfrentar um ambiente desfavorável. (TAIZ; ZEIGER, 2013).

O conhecimento dos mecanismos fisiológicos de tolerância ao estresse hídrico em plantas arbóreas tropicais vem sendo largamente discutido, haja visto o cenário atual de desmatamento e degradação de solos refletem uma problemática no sentido de criar sistemas de manejos florestais sustentáveis (REINHARDT *et al.*, 2000). A relação água-planta vem sendo estudada com o objetivo de se entender os processos de absorção, transporte e perda de água, assim como as estratégias de sobrevivência das plantas submetidas a ambientes com falta ou com excesso de água no solo (MEDRI, 2002), que podem desencadear diferentes graus de estresse.

De maneira geral fatores abióticos afetam diretamente a atividade fisiológica das plantas em suas diferentes fases de crescimento. Fatores como baixa disponibilidade de luz, hídrica e nutricional tornam mais difícil o estabelecimento das plantas na fase juvenil. Em relação à disponibilidade hídrica, vários processos metabólicos das plantas podem ser influenciados, como o fechamento estomático acarretando a redução da fotossíntese e transpiração e nos padrões de alocação de biomassa afetando o crescimento da planta e é uma das condições que mais limitam a produção primária dos ecossistemas e o rendimento das culturas, principalmente pelas restrições que impõe à fixação fotossintética de carbono (GRISI *et al.*, 2008; TAIZ; ZEIGER, 2013; LARCHER, 2006).

2.3. Efeitos morfofisiológicos causados pelo estresse hídrico

2.3.1. Efeitos no crescimento

As primeiras respostas fisiológicas ao déficit hídrico envolvem a contração celular, afrouxamento da parede e perda do turgor das células e conseqüentemente redução no crescimento vegetal (NOGUEIRA *et al.*, 2004; CERNUSAK *et al.*, 2007). Como a perda de turgidez é o primeiro efeito biofísico da carência hídrica, as atividades relacionadas com a turgidez são as mais sensíveis ao déficit hídrico. A deficiência hídrica afeta todos os aspectos de crescimento e desenvolvimento das plantas influenciando no alongamento celular e resultando no decréscimo da área foliar, afetando a produção e translocação de fotoassimilados para as novas áreas de crescimento, assim como na redução na produção e alocação de matéria seca sendo influenciado diretamente pela redução nas trocas gasosas e no balanço de carbono (LUDLOW; MUCHOW, 1990; LARCHER, 2006; NOGUEIRA *et al.*, 1998, SILVA *et al.*, 2003; NOGUEIRA *et al.*, 2005). O processo do crescimento dos caules é menos estudado, mas provavelmente é afetado pelas mesmas forças que limitam o crescimento foliar durante o estresse (TAIZ; ZEIGER, 2013).

A redução da área foliar em plantas lenhosas como resposta a baixa disponibilidade hídrica do solo é comprovada por vários autores (CABRAL *et al.*, 2004; COSTA; MARENCO 2007; SCALON *et al.*, 2011) e é considerado como um dos principais fatores que leva a uma queda de produtividade (LARCHER, 2006). Outro efeito observado é a redução da alocação de biomassa das folhas e do caule por meio do aumento e acumulação nas raízes, razão pela qual se verifica um maior crescimento da zona radicular em resposta a baixa disponibilidade de água no solo e conseqüentemente, aumento da capacidade de absorção de nutrientes (CORREIA; NOGUEIRA, 2004).

O estresse hídrico representa um dos fatores modificadores nos processos fisiológicos e morfológicos nas plantas pela alteração no conteúdo de água na célula e a inibição dos diversos processos de crescimento de maneira que altera o metabolismo das plantas. Assim a melhor compreensão desses processos no crescimento das plantas é essencial para o desenvolvimento de sistemas de manejo sustentáveis e melhor entendimento da adaptação das espécies a estresses abióticos.

2.3.2. Efeitos nas trocas gasosas

A redução da disponibilidade hídrica causa efeitos diretos na capacidade fotossintética das plantas, principalmente pela desidratação do aparato fotossintético e indiretamente pelo fechamento estomático (LAWLOR; CORNIC, 2002). A capacidade fotossintética é uma característica intrínseca de cada espécie vegetal, sendo que as trocas gasosas são variáveis e mudam de acordo com o ciclo de desenvolvimento da cultura e depende do curso anual e até mesmo do curso diário das flutuações ambientais (luz, temperatura, etc.) em torno do vegetal (LARCHER, 2006).

Em condições de baixa disponibilidade de água no solo as plantas desenvolvem adaptações para tolerar o estresse hídrico. Um desses mecanismos de adaptação é a redução da taxa fotossintética por meio do fechamento estomático devido à mudança do *status* de água na folha levando a redução da transpiração e da possibilidade de morte por dessecação (SILVA *et al.*, 2009).

O fechamento estomático reflete ainda na dinâmica das trocas de vapor d'água e do fluxo de absorção do CO₂ limitando assim a entrada desses gases na planta e afetando diretamente a fotossíntese (PIMENTEL, 2004), essa diminuição pode ser proveniente ainda da perda de turgescência das células-guarda do estômato (BARUCH, 1994; SILVA *et al.*, 2001). A diminuição da assimilação de carbono é observada por muitos autores como sendo umas das respostas diretas ao estresse hídrico (LIMA *et al.*, 2010; ALBUQUERQUE *et al.*, 2013; COSTA; MARRENCO 2007). O entendimento das respostas de fechamento estomático é de grande importância, pois o equilíbrio da entrada de CO₂ na folha e a perda de vapor d'água para a atmosfera pela transpiração são essenciais para a manutenção da atividade fotossintética e a hidratação dos tecidos de maneira que a planta consiga o substrato para as reações bioquímicas da fotossíntese e impeça a perda excessiva de água e conseqüentemente a desidratação dos tecidos (CHAVES *et al.*, 2002).

As variáveis de taxa de fotossíntese líquida (A), taxa de transpiração (E) e a condutância estomática (g_s) são parâmetros considerados como variáveis fisiológicas que apontam importantes medidas da capacidade das espécies de se estabelecer sobre ambientes com limitação de baixa disponibilidade hídrica. Nesse sentido, indicadores como a eficiência do uso de água (A/E) e eficiência intrínseca de uso de água (A/g_s) podem ser atribuídos a pesquisas de seleção de espécies mais apropriadas para o plantio em determinadas condições de disponibilidade hídrica e para adotar melhorias práticas no manejo da irrigação. (CORDEIRO, 2012; FARIAS, 2008).

2.3.3. Efeitos no teor de clorofila (Índice SPAD)

As clorofilas são pigmentos localizados nas membranas dos tilacóides dos cloroplastos responsáveis pela captura de luz usada na fotossíntese, sendo elas essenciais na conversão da radiação luminosa em energia química, na forma de ATP e NADPH. (VICTÓRIO *et al.*, 2007). A clorofila “a” está presente em todos os organismos que realizam fotossíntese e é considerado o principal pigmento, sendo os demais pigmentos acessórios: a clorofila “b” é outro tipo de pigmento encontrado nas plantas, algas verdes e algumas bactérias; a clorofila “c”, em feófitas e diatomáceas e a clorofila “d”, em algas vermelhas. Nas membranas dos tilacóides, os fotossistemas I e II são responsáveis por captar e converter a energia luminosa (fótons) em energia química (ATP e NADPH). O centro de reação do fotossistema II é formado por um complexo proteico junto à molécula de clorofila P680 que possui um redutor muito forte que oxida a molécula de água em elétrons, prótons e oxigênio (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Os teores de clorofila e carotenoides em folhas são usados para estimar a eficiência fotossintética das plantas, pois estão diretamente ligadas à absorção e transferência da energia luminosa essencial para as reações fotoquímicas (RÊGO; POSSAMAI, 2004). Assim os altos teores de clorofila nas plantas favorecem uma mais alta atividade fotossintética pela maior capacidade de captação de luminosidade. (PORRA *et al.*, 1989).

Segundo Almeida *et al.* (2004) o crescimento e a adaptação de plantas a diferentes ambientes estão relacionados entre outros fatores, aos teores de clorofila foliar. Tem sido demonstrada a existência de uma relação entre o índice de intensidade da cor verde, teor de clorofila e o estresse hídrico em plantas, por conta da perda de pigmentos que acontece durante a exposição a um estresse ambiental, tal como a seca, mostrando como sendo um indicador visível da planta ao estresse, podendo ser utilizado como parâmetro indicativo de estresses abióticos. (HOEL; SOLHAUG, 1998; CARVALHO *et al.*, 2007; CODOGNOTTO *et al.*, 2002).

2.3.4. Efeitos na fluorescência da clorofila

As clorofilas tem o ponto máximo de absorção de fótons na região de 428 a 660 nm (clorofila a) e na região de 452 a 641,8 nm (clorofila b) correspondentes à região do azul e do vermelho respectivamente, e nesse caso a luz verde não é absorvida e sim refletida e transmitida o que confere a cor verde a maioria dos vegetais. As moléculas de clorofila

quando absorvem energia luminosa (fótons) alteram suas configurações eletrônicas, passando para um estado mais excitado (a orbitais mais elevados e mais instáveis) denominado *singlet I*, em seguida o elétron, ao retornar à órbita de origem libera a energia que absorveu do fóton sob a forma de luz. A dissipação dessa energia pode ocorrer de três formas: dissipação fotoquímica (Ph), fluorescência(F) e dissipação não fotoquímica(D) (CAMPOSTRINE, 2001).

Em temperatura ambiente (temperatura fisiológica, 20 a 25 °C), a fluorescência é uma luz emitida e exibe um ponto máximo de emissão na faixa de 682 nm e outro ponto menos pronunciado em 740 nm (KRAUSE; WEIS, 1991). Os três processos de dissipação da energia luminosa pelas moléculas de clorofilas (Ph+F+D) são competitivos, ou seja, alteração nas taxas fotossintéticas e na dissipação de calor causará alterações complementares na emissão da fluorescência. Sendo assim, alterações na fluorescência podem mostrar a ausência ou presença de comprometimentos no processo fotossintético. Esta fluorescência emitida pelo fotossistema II (PSII) pode ser detectada com um fotodetector, ou seja, um fotomultiplicador ou fotodiodo sensível aos comprimentos de onda na região de 680 nm. (CAMPOSTRINE, 2001).

As medições da fluorescência da clorofila a têm sido uma importante ferramenta, por ser um método que, além de não destrutivo, permite a análise qualitativa e quantitativa da absorção e aproveitamento da energia luminosa pelo fotossistema II e possíveis relações com a capacidade fotossintética (MOUGET; TREMBLIN, 2002). Nesse sentido essa técnica tem sido usada para investigar danos causados por vários tipos de estresses sobre a capacidade fotossintética das plantas, e mais especificamente para avaliar os efeitos no aparato fotossintético que são atribuídas de forma direta com a eficiência fotoquímica por ser uma ferramenta capaz de diagnosticar a redução da assimilação de CO₂ e a destruição da estrutura fotossintética (TORRES NETO *et al.*, 2005; CORREIA *et al.*, 2009; GONÇALVES *et al.*, 2010). Essa técnica apresenta-se como uma ferramenta de grande potencial nos estudos relacionados aos efeitos dos fatores do ambiente sobre o processo fisiológico em plantas, por ser capaz de indicar ausência ou presença de comprometimento no processo fotossintético em plantas submetidas a estresse hídrico (PINCELLI, 2010).

2.3.5. Efeito na eficiência fotossintética do uso de nitrogênio e fósforo

Os elementos minerais são extremamente importantes para a eficiência de fotossíntese, pois são componentes integrantes de enzimas e pigmentos ou, ainda, ativadores

diretos do processo fotossintético. O nitrogênio, componente essencial das proteínas e clorofilas, é necessário para a formação dos tilacóides e enzimas, especialmente a enzima ribulose 1,5 bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco), que age na fixação de carbono (LARCHER, 2006; FYLLAS *et al.*, 2009). O fósforo inorgânico regula o ciclo de Calvin e o transporte de metabólitos e de compostos assimilados. A deficiência de fosfato resulta em uma acumulação de assimilados (sacarose e amido) no cloroplasto, deprimindo a fotossíntese até mesmo sob condições favoráveis (LARCHER, 2006).

Apesar de estudos demonstrarem que a capacidade e eficiência do processo fotossintético são alteradas pelo estresse hídrico (ALBUQUERQUE *et al.*, 2013; CORDEIRO 2012) e sazonalidade das chuvas (PALHARES *et al.*, 2010; TROVÃO *et al.*, 2007), ainda não se sabe como teores de elementos minerais, como o nitrogênio e o fósforo, podem influenciar a capacidade fotossintética de árvores submetidas a deficiência hídrica e ao longo das diferentes épocas de precipitação.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização caracterização da área experimental

O trabalho foi conduzido no período de setembro de 2012 a julho de 2013 em uma área experimental da Embrapa, localizado no perímetro irrigado do Baixo Acaraú, situada a 2,2 Km da margem direita da CE-178, no município de Acaraú, Ceará, Brasil, com coordenadas de 3° 27' 06'' de latitude Sul, 40° 08' 48'' de longitude Oeste e altitude média de 60m (Figura 1). O clima da região segundo a classificação de Köppen é o Aw Tropical Chuvoso: Precipitação média anual de 900 mm; temperatura mínima anual 22,8° C; temperatura média anual 28,1° C; temperatura máxima anual 34,7 °C; Insolação 2.650 h/ano; umidade relativa média anual 70%; velocidade média dos ventos 3,0m/s e evaporação média anual 1.600 mm. O relevo é razoavelmente suave e os solos são em média profundos, bem drenados, de textura média ou média/leve e muito permeáveis (DNOCS, 2013).

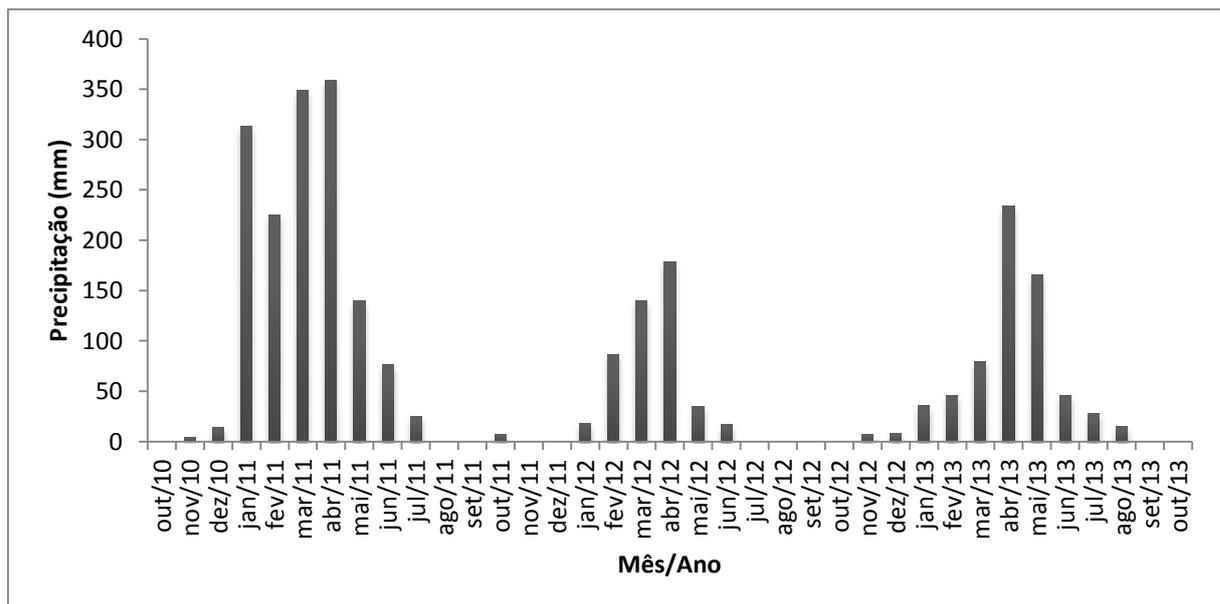
Os dados de precipitação pluviométrica do período de outubro de 2010 a outubro de 2013 encontram-se na Figura 2. Os dados foram fornecidos por um posto climatológico da FUNCEME, localizado a cerca de 6 km da área experimental na comunidade de Lagoa do Carneiro, Acaraú, Ceará.

Figura 1 - Localização da área experimental. Acaraú-CE, 2013.



Fonte: (Google Earth, 2013).

Figura 2 - Médias mensais de precipitação pluviométricas no período de outubro de 2010 a outubro de 2013, no município de Acaraú - CE.



Fonte: Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 2014.

O solo da área experimental foi classificado como Neossolo quartzarênico (Embrapa, 2013). Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0 – 20 , 20 – 50 e 50 – 80 cm para caracterização química e física. As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Solo, Água e plantas da Embrapa Agroindústria Tropical – Fortaleza, Ceará e as análises físicas no Laboratório de Solos/Água da Fundação Cearense de Meteorologia e

Recursos Hídricos (FUNCEME) – Departamento de Ciências do Solo/UFC – Fortaleza, Ceará. Os resultados das análises químicas e físicas do solo encontram-se a seguir nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Caracterização química do solo da área experimental. Acaraú-CE, 2013.

Camada	pH	CE	MO	P	K ⁺	Mg ⁺	Ca ⁺²	Na ⁺²	H+Al ⁺³	CTC	SB	V%
(cm)	Água	dS/m	g/Kg	mg/dm ³	-----mmol _c /dm ³ -----							%
0 – 20	6,4	0,21	12,9	22,9	1,6	7,2	18,8	3,3	7,5	38,4	30,9	80,5
20 – 50	6,1	0,17	5,1	16,9	0,5	5,7	10,5	3,4	3,3	23,4	20,1	86,0
50 - 80	5,7	0,12	5,1	12,8	0,7	5,4	8,5	3,5	10,8	28,9	18,1	62,2

Fonte: Laboratório de Solo, Água e Plantas – Embrapa Agroindústria Tropical.

Tabela 2 - Caracterização física do solo da área experimental. Acaraú-CE, 2013.

Camada	Composição Granulométrica (g/Kg)					Classificação Textural
	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Argila Natural	
(cm)						
0 - 20	609	311	29	51	23	Areia
20 – 50	602	296	35	67	50	Areia
50 – 80	403	481	31	85	42	Areia Franca
Camada	Densidade (g/cm ³)		Umidade (g/100g)			Grau de Flocculação (g/100g)
	Global	Partícula	0,033 MPa	1,5 MPa	Água Útil	
(cm)						
0 - 20	1,51	2,69	4,02	3,11	1,91	55
20 – 50	1,50	2,71	4,38	2,95	1,43	26
50 – 80	1,50	2,72	4,62	3,27	1,35	51

Fonte: Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos.

3.2. Espécies utilizadas

3.2.1. *Gonçalo Alves (Astronium fraxinifolium)*

O Gonçalo-Alves é uma espécie pertencente à família *Anacardiaceae*, apresenta comportamento decíduo. As árvores podem atingir 25 m de altura e 60 cm de DAP (diâmetro à altura do peito, medido a 1,30 m do solo), no Cerrado e na Caatinga comumente chegam à altura de 3 a 5 m. Apresenta tronco reto; fuste de até 8 m; casca que mede até 17 mm de espessura; folhas alternas, imparipinadas, medindo de 15 cm a 12 cm de comprimento por 2 a

3,5 cm de largura. A inflorescência ocorre em panículas terminais ou axilares, medindo de 2 a 6 cm de comprimento com flores brancas ou amarelas com cinco pétalas e 4 mm de comprimento. Fruto tipo drupa medindo 1 cm de comprimento por 3 a 5 mm de diâmetro de coloração castanho-claro. A semente é oblonga, medindo 5 a 7 mm de comprimento, apresentando taxa de poliembrião de 4% (CARVALHO, 2010; SALOMÃO; ALLEM, 2001).

Figura 3 - Gonçalves Alves (*Astronium fraxinifolium*). Acaraú-CE, 2013.



Fonte: Elaboração do autor.

Ocorre naturalmente entre as latitudes de 0°25'N, no Amapá, a 23°S, em Mato Grosso do Sul, e tem como variação altitudinal 15 m, na Paraíba, a 1.300 m, em Minas Gerais. As regiões de ocorrência tem variação de precipitação pluvial média anual de 700 mm, no Piauí, a 2.600 mm, no Amapá e temperaturas médias anual de 18,1 °C, em Diamantina, MG a 26,5 °C, em Bom Jesus do Piauí, PI. É uma espécie calcífila característica e indicadora de solos mesotróficos. Prefere os sítios bem drenados e os solos de textura arenosa ou argilosa, de fertilidade alta e profundos (CARVALHO, 2010; RATTER *et al.*, 1978; LOPEZ *et al.*, 1987; POTT; POTT 1994).

Apresenta madeira densa a muito densa com massa específica aparente (densidade) de 0,73 g.cm⁻³ a 1,13 g.cm⁻³ e massa específica básica de 0,820 t.m⁻³. O Cerne é

muito irregular com coloração bege-rosada a castanho; superfície lustrosa, lisa ao tato; a textura média é uniforme; grã irregular, diagonal ou reversa. A madeira dessa espécie é muito durável, com alta resistência ao ataque de fungos e de fácil trabalhabilidade, é usado em construções civis e navais, postes, parquetes, mobiliário de luxo, objetos de adorno e torneados, além de folhas para compensado. Fornece lenha e carvão de ótima qualidade (BENITEZ; MONTESINOS LAGOS, 1988; BRITO; BARRICHELO, 1981; CARVALHO, 2010).

3.2.2. *Guanandí (Calophyllum brasiliense Cambess.)*

O guanandi é uma espécie pertencente à família *Clusiaceae (Guttiferae)*, é uma árvore perenifólia, perdendo poucas folhas na estação seca (MARQUES, 1994). Na região Nordeste, alcança até 16 m de altura (LIMA; ROCHA, 1971), na Região Sul, até 25 m (REITZ *et al.*, 1978), e na Amazônia pode atingir 40 m de altura e 150 cm de DAP, na idade adulta (BASTOS, 1946). Apresenta tronco reto e cilíndrico; fuste de até 15 m de altura; casca com espessura até 40 mm; folhas em cruz (decussadas), simples, elípticas, coriáceas, com 5 a 15 cm de comprimento por 3 a 7 cm de largura, com nervuras laterais numerosas, aproximadas, paralelas, indo até a margem. As flores ocorrem reunidas em curtos racemos axilares ou panículas pequenas de 2,5 a 6 cm de comprimento, ordenadas em címulos trifloros, brancas. O fruto é do tipo drupa globulosa carnosa e indeiscente com 19 a 30 mm de comprimento. As sementes são globulosas, de cor castanho, com 14 a 22 mm de diâmetro (CARVALHO, 2003).

Ocorre naturalmente entre as latitudes de 18°N em Porto Rico a 28°10'S no Brasil, em Santa Catarina, e tem como variação altitudinal 5 m, no litoral das regiões Sul, Sudeste e Nordeste, a 1.200 m, no Distrito Federal. Fora do Brasil, atinge até 1.500 m de altitude (CARVALHO, 2003; JOKER; SALAZR, 2000).

As regiões de ocorrência tem variação de precipitação pluvial média anual de 1.100 mm, no Estado de São Paulo, a 3.000 mm, no Pará e temperaturas médias anual de 18,1 °C, em Diamantina, MG a 26,7 °C, em Manaus, AM em solos aluviais com drenagem deficiente, em locais úmidos, periodicamente inundáveis e brejosos, com textura arenosa e franca, e ácidos (pH 4,5 a 6,0) (CARVALHO, 2003).

Apresenta madeira variando de leve à moderadamente densa com massa específica aparente de 0,45 a 0,65 g.m⁻³; entre 12% a 15% de umidade e massa específica básica de 0,49 a 0,51 g.cm⁻³. Apresenta alburno mais claro; cerne variável, do róseo-castanho

ao bege-rosado, tendendo para o castanho; a superfície é ligeiramente lustrosa e áspera ao tato; textura média a grossa e grã irregular. A madeira é considerada durável a moderadamente durável; imputrescível dentro da água e boa trabalhabilidade, utilizada na fabricação de móveis e usada nas construções civis e navais, barris, marcenaria e carpintaria em geral (CARVALHO, 2003; JOKER; SALAZAR, 2000; JANKOWSKY *et al.*, 1990).

Figura 4 - Guanandí (*Calophyllum brasiliense* Cambess.). Acaraú-CE, 2013.



Fonte: Elaboração do autor.

3.2.3. Ipê-Amarelo (*Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nich.)

O ipê-amarelo é uma espécie pertencente à família *Bignoniaceae*, é uma planta decídua, heliófita, característica de floresta pluvial densa. As árvores dessa espécie atingem geralmente de 8-20 m de altura, com tronco de 60-80 cm de diâmetro com casca com 10-15 mm de espessura de cor pardo-acinzentado e superfície fissurada. Apresentam folhas compostas, 5-folioladas (eventualmente 4); folíolos glabros ou pubescentes, de 6-17 cm de comprimento por 3-7 cm de largura. Inflorescência em panículas de corimbos, com flores

amarelas. O cálice e a corola das flores apresentam estrutura tubular com cinco lóbulos. O cálice de coloração esverdeada é ligeiramente pubescente. A corola amarelo-dourada mede 6-8 cm de comprimento. O fruto é uma vagem septicida, coriácea, glabra, linear, de 20-65 cm de comprimento e 2,5 a 3,5 cm de espessura. As sementes numerosas são retangulares, laminares, leves, com duas asas hialinas e curtas (LORENZI, 2002; FERREIRA *et al.*, 2004).

Figura 5- Ipê-Amarelo (*Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nich.). Acaraú-CE, 2013.



Fonte: Elaboração do autor.

Ocorre naturalmente com muita frequência na região Amazônica e esparsa desde o Ceará até São Paulo na floresta pluvial atlântica e na floresta semidecídua desde o Pará e Mato Grosso até Goiás; nas regiões Sul da Bahia e norte do Espírito Santo é um pouco mais frequente do que no resto da costa. É encontrada desde o nível do mar até a altitude de 1200 m. Quanto a condições de solo, tanto na mata como na capoeira, prefere solos bem drenados situados nas encostas (LORENZI, 2002; FERREIRA *et al.*, 2004).

Apresenta Madeira pesada (densidade 1,08 g/cm³), duríssima, difícil de serrar, rica em cristais de lapachol, infinitamente durável sob quaisquer condições, com alburno distinto do cerne. Possui superfície pouco brilhante, lisa, oleosa e de coloração pardo-clara até pardo-acastanhado-escura, com reflexos esverdeados. A madeira é própria para construções pesadas

e estruturas externas, tanto civis como navais, como quilhas de navios, pontes, dormetes, postes, para tacos e tábuas de assoalho, confecção de tacos de bilhar, bengalas, eixo de rodas, etc. (LORENZI, 2002; FERREIRA *et al.*, 2004).

3.2.4. *Ipê-Rosa (Tabebuia impetiginosa)*

O Ipê-Rosa é uma espécie pertencente à família *Bignoniaceae*, é uma árvore caducifólia. Podem atingir 15 m de altura e 30 cm de DAP (diâmetro à altura do peito, medido a 1,30 m do solo) na Caatinga e até 50 m e 100 cm de DAP na Amazônia (PAULA; ALVES, 1997). Apresenta tronco frequentemente tortuoso, podendo ser encontrado indivíduos de porte reto e cilíndrico; fuste de 4 a 8 m de comprimento; casca que mede até 12 mm de espessura; folhas opostas digitadas, com pecíolos de até 11 cm de comprimento, geralmente com cinco folíolos com margem interna ou levemente serrada até o ápice. As flores são rosadas, tubulares com 4 a 7,5 cm de comprimento, reunidas em panícula terminal. O fruto é do tipo síliqua cilíndrica estreita, deiscente, com 12 a 56 cm de comprimento. As sementes são cordiforme oblonga marrom-clara, com presença de asa membranácea de até 3 cm de comprimento (CARVALHO, 2003; SOUZA; LIMA, 1982).

Figura 6 - Ipê-Rosa (*Tabebuia impetiginosa*). Acaraú-CE, 2013.



Fonte: Elaboração do autor.

Ocorre naturalmente entre as latitudes de 20°N, no Nordeste do México a 28°S, no Nordeste da Argentina. No Brasil, o limite sul dessa espécie é 22°45'S no Paraná, e tem como variação altitudinal 10 m, no litoral da região Nordeste a 1.400 m, no estado de São Paulo. As regiões de ocorrência tem variação de precipitação pluvial média anual de 440 mm, na Bahia a 2.500 mm, em Pernambuco e temperaturas médias anual de 18,1 °C, em Diamantina, MG a 27,2 °C, em Mossoró, RN. Os solos da área de ocorrência natural são arenosos e úmidos, bem drenados e com textura franca a argilosa. Os solos com baixos teores de nutrientes são limitantes ao seu crescimento (CARVALHO, 2003; GARRIDO, 1981).

Apresenta madeira densa com massa específica aparente (densidade) de 0,92 a 1,08 g.cm⁻³ a 15% de umidade e massa específica básica de 0,79 t.m⁻³(MAINIERI; CHIMELO, 1989; JANKOWSKY *et al.*, 1990). Cerne e alburno não são diferenciados, de coloração pardo-acastanhada ou pardo-havana-clara, geralmente uniforme; superfície pouco lustrosa e medianamente lisa ao tato; a textura fina a média e uniforme; grã direita ou reversa. A madeira é resistente ao ataque de organismos xilófago altamente resistente a fungos e cupins e de fácil trabalhabilidade, é utilizada na construção civil, confecção de artigos de esporte, cabos de ferramentas de implementos agrícolas, peças torneadas e fabricação de instrumentos musicais, além de fornecer lenha de boa qualidade (CARVALHO, 2003; PAES *et al.*, 2005; CAVALCANTE, 1982).

3.2.5. Marupá (*Simarouba amara* Aubl.)

O Marupá é uma espécie pertencente à família *Simaroubaceae*, é uma árvore perenifólia a semidecídua. Podem atingir 25 m de altura e 80 cm de DAP (diâmetro à altura do peito, medido a 1,30 m do solo). Apresenta tronco reto e de seção cilíndrica; fuste de até 22,5 m; casca que mede até 20 mm de espessura; folhas compostas imparipinadas com 3 a 6 pares, de 7 a 21 folíolos de 5 a 10 cm de comprimento por 3 a 3,5 cm de largura. Ocorre inflorescência em panículas terminais eretas, desinfloras, bastante ramificadas, medindo 20 a 30 cm de comprimento. As flores são de cor branca ou amarelada, sendo que as flores femininas apresentam 5 a 6 sépalas, as flores masculinas são pentâmeras. O fruto é do tipo drupa globulosa formada de um só carpelo. A semente é elíptica, medindo de 0,5 cm a 0,8 cm de comprimento (CARVALHO, 2008; BARROSO *et al.*, 1999).

Ocorre naturalmente entre as latitudes de 3°N, em Roraima a 21°45'S, no Rio de Janeiro, e tem como variação altitudinal 20 m, no Pará a 1.200 m, no Distrito federal. As regiões de ocorrência tem variação de precipitação pluvial média anual de 760 mm, no Ceará

a 4.000 mm, no Amapá e temperaturas médias anual de 20,5 °C, em Guaramiranga, CE a 26,7 °C, em Manaus, AM. É uma espécie encontrada naturalmente em vários tipos de solo (CARVALHO, 2008).

Figura 7 – Marupá (*Simarouba amara* Aubl.). Acaraú-CE, 2013.



Fonte: Elaboração do autor.

A madeira é considerada leve com massa específica aparente (densidade) de 0,352 g.cm⁻³ a 0,55 g.cm⁻³ de 12% a 15% de umidade (WOODCOCK, 2000). Apresenta cerne e alburno indistintos de cor branco-palha a levemente amarelado; grã direita a irregular; textura média; superfície ligeiramente áspera ao tato e pouco lustrosa e macia ao corte. A durabilidade natural da madeira é relativamente longa, resistente ao ataque de insetos e de boa trabalhabilidade. Tem o uso bastante diversificado na indústria de calçados, construção civil (acabamentos interno como rodapés, molduras, tábuas para forro), produção de compensados, móveis, na fabricação de palitos de fósforo, caixotes e instrumentos musicais. Fornece lenha de razoável qualidade (CARVALHO, 2008).

3.2.5. Mogno (*Swietenia macrophylla* King)

O mogno é uma espécie pertencente à família *Meliaceae*, é uma árvore perenifolia e decídua e pode atingir até 70 m de altura e 3,5 m de DAP (diâmetro à altura do peito, medido a 1,30 m do solo). Apresenta tronco reto, levemente acanalado e com raízes tabulares na base; fuste retilíneo de até 27 m de comprimento; casca que mede até 25 mm de espessura; folhas compostas, arranjadas em espiral nos ramos, paripinadas, medindo de 25 a 45 cm de comprimento. Apresentam 8 a 12 folíolos que medem 7 a 15 cm de comprimento por 3,5 a 6 cm de largura. Apresenta inflorescência em tirso axilares densos, piramidados que medem 15 a 25 cm de comprimento. São encontradas flores de ambos os sexos, na mesma inflorescência sendo as flores masculinas actinomorfas, medindo de 6 a 8 mm de diâmetro e as femininas semelhantes, mas com anteras muito pequenas, indeiscentes e sem pólen. O fruto é uma cápsula lenhosa e ovóide, medindo de 10 a 22 cm de comprimento e 6 a 10 cm de largura, com deiscência septifraga e de coloração marrom. As sementes são aladas vermelho-pardacentas medindo 8 a 25 mm de comprimento (CARVALHO, 2006).

Figura 8 - Mogno (*Swietenia macrophylla* King). Acaraú-CE, 2013.



Fonte: Elaboração do autor

Ocorre naturalmente entre as latitudes de 20°N, no México (Yucatán) a 18°S, na Bolívia. No Brasil, de 1°S, no Maranhão a 14°S, em Mato Grosso e tem como variação altitudinal 400 m, no Brasil a 1.500 m, no Peru (PENNINGTON, 1981). As regiões de ocorrência tem variação de precipitação pluvial média anual de 1.200 mm, no Maranhão a 2.900 mm, no Pará e temperaturas médias anual de 24,8 °C, em Tarauacá, AC a 26,7 °C, em Itaituba, PA (CARVALHO, 2006).

As condições de solo tolerável para o mogno são variáveis, desde solos profundos pobremente drenados, solos argilosos ácidos e pantanosos, até solos alcalinos e bem drenados, oriundos de planaltos calcários, incluindo solos derivados de rochas ígneas e metamórficas variando entre aqueles de áreas sujeitas a alagamentos periódicos (hidromórficos) e os solos de área de terra firme (espodosolos), típicos da região onde ocorrem (CARVALHO, 2006; TEREZO, 2002).

Apresenta madeira moderadamente densa com massa específica aparente (densidade) de 0,48 a 0,85 g.cm⁻³, com 12% a 15% de umidade (MAINIERI; CHIMELO, 1989). O cerne é castanho-claro e levemente amarelado; o alburno é estreito e bem contrastado branco-amarelado; superfície lustrosa, lisa ao tato, com reflexos dourados; a textura é média e uniforme; grã direita ou ligeiramente irregular (diagonal). A madeira é considerada de resistência moderada ao apodrecimento e alta ao ataque de madeira seca. Em contato com o solo e a umidade, apresenta baixa durabilidade. É de fácil trabalhabilidade, é uma das madeiras mais procuradas para a exportação e empregada, no país, na fabricação de mobiliário de luxo, portas entalhadas, objetos de adorno, lambris, construção civil, indústria de aviação, compensados, painéis, laminados, instrumentos científicos de alta precisão e para fabricação de instrumentos musicais, especialmente pianos (CARVALHO, 2006).

3.3. Delineamento experimental e Tratamentos

O delineamento experimental adotado foi o de medidas repetidas no tempo num esquema de parcelas sub-subdividida (6 x 3 x 2) para as variáveis de trocas gasosas e (6 x 2 x 2) para as variáveis de eficiência fotossintética no uso de P e N, índice SPAD, fluorescência da clorofila, grau de suculência e área foliar específica. Para as variáveis de crescimento (Altura da planta, diâmetro do caule, taxas de crescimento absoluto e relativo) o esquema adotado foi (6 x 2 x 5) , sendo a parcela principal composta por seis espécies, a sub-parcela por dois regimes hídricos (irrigado e sequeiro) e a sub-subparcela pelas épocas de avaliação

Foram realizadas múltiplas observações da mesma planta nesses diferentes tempos, considerando cada planta como uma repetição. Os tratamentos do experimento constaram basicamente de dois grupos: um irrigado (tratamento controle) e outro não irrigado (tratamento de déficit hídrico).

3.4. Instalação e condução do experimento

3.4.1. Produção das mudas

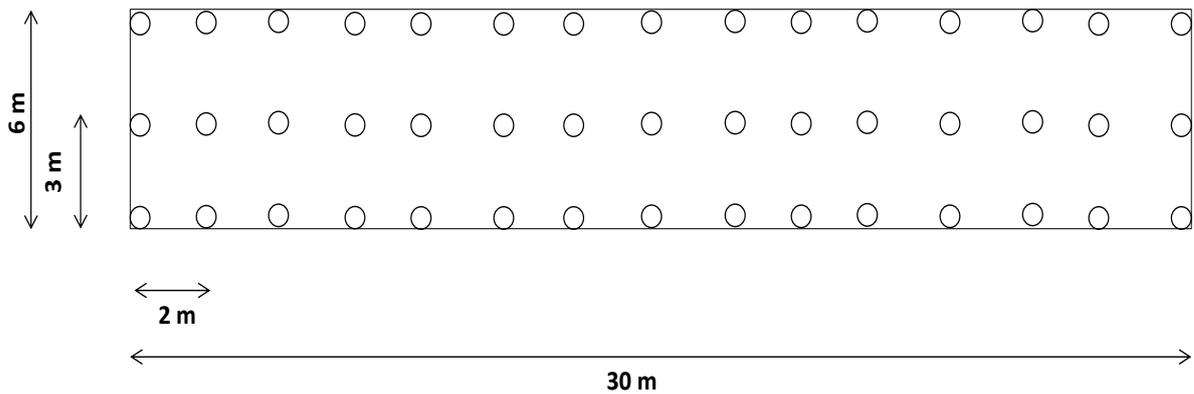
A produção das mudas foi realizado por meio de sementes coletadas de árvores localizadas no Ceará e Paraíba na safra de 2010. Após a coleta foram transportadas para o Laboratório de Recursos Genéticos e Melhoramento da Embrapa Agroindústria Tropical, onde se procedeu ao beneficiamento e armazenamento em refrigerador (4 a 6 °C; 35 a 43% de umidade relativa). As mudas foram produzidas no viveiro do campo experimental de Pacajus da Embrapa Agroindústria Tropical, pelo método de semeadura direta em tubetes de 288 cm³ contendo a mistura: casca de arroz carbonizada + bagana de carnaúba triturada + solo hidromórfico na proporção volumétrica de 3:2:2. Depois do término de produção que ocorreu em média 60 dias após a germinação, as mudas passaram por um processo de rustificação que durou mais 30 dias para depois ser feito o plantio em campo. As mudas apresentavam-se vigorosas, isentas de pragas e doenças e sem deficiências nutricionais.

3.4.2. Implantação e condução

Em outubro de 2010 as espécies foram plantadas em parcelas experimentais de 6 x 28 m constituídas por três linhas, composta de 15 plantas/linha, sendo a primeira e a terceira consideradas bordaduras, também foram excluídas as duas plantas dos extremos da linha central, totalizando o número de 13 plantas na área útil. O espaçamento utilizado foi de 3 m entre as linhas e 2 m entre plantas (Figura 9). As covas de dimensões 20x20x20 cm receberam adubação de fundação de 150 g, que era composta por 120 g de NPK 10-28-20 mais 30 g de FTE BR 12 misturando ao solo no fundo da cova. Além disso, o solo retirado na abertura da cova retornava para o preenchimento e fechamento da mesma após a colocação da muda. Foi realizado replantio, até 30 dias após o plantio, para substituição das mudas mortas ou com problemas.

Concomitantemente ao plantio das mudas efetuou-se o semeio do Feijão Guandu Anã – cultivar IAPAR 43 como forma de adubação verde entre as linhas. Mensalmente, durante oito meses, procederam-se cortes mantendo a uma altura de 50 cm do solo e deixando-se os restos vegetais sobre a superfície do solo. Durante o período experimental, a intervalos de seis meses, cada planta recebeu adubação de formação através da incorporação de 50 g de NPK 10-28-20 disposto em meio círculo numa profundidade de 5 a 10 cm. Aos 12 meses ocorreu a primeira poda de formação de fuste para espécies que apresentavam formação de galhos excessivos. O controle de formigas foi monitorado periodicamente na área e com eventual aplicação de formicida granulado e em pó. No controle das plantas invasoras, foram realizadas capinas manuais nas linhas de plantio.

Figura 9 - Croqui da sub - parcela. Acaraú-CE, 2013.



Fonte: Elaboração do autor.

3.4.3. Manejo da irrigação

No primeiro ano toda a área foi irrigada e logo após esse período foi suspensa em um dos lados até o final do experimento, dividindo em duas subáreas (sub parcelas), uma que foi irrigada continuamente (regime irrigado) e outra que a irrigação foi suspensa no final do primeiro ano de cultivo (regime não irrigado). Foi utilizado um sistema de irrigação por microaspersão e o manejo da irrigação se deu da seguinte forma: no primeiro ano o turno de rega foi de 1 dia, tempo de irrigação de 2 horas, volume por microaspersor de 80 L/dia, com volume por planta de 16 L/dia e com total de lâmina aplicada de 2,7 mm/dia. Após o primeiro ano o turno de rega foi de 2 dias, tempo de irrigação 7,5 horas, volume por microaspersor 300 L/dia, com volume por planta de 60 L/dia, com lâmina aplicada de 10 mm/dia e lâmina anual de 1200 mm (considerando 8 meses).

3.4.3. Épocas de avaliação

Para as variáveis de trocas gasosas, fluorescência da clorofila, índice SPAD e umidade do solo foram realizados três avaliações nas datas de 22/11/12, 07/02/2013 e 17/05/2013. Para as avaliações de área foliar e nutrientes as coletas de folhas foram realizadas nas datas de 23/11/2012 e 18/05/2013.

Os dados de altura das plantas e diâmetro a altura do peito (DAP) foram analisados utilizando dados do período de 24 meses com aferições realizadas aos 0, 6, 12, 18 e 24 meses a partir do plantio.

3.5. Variáveis analisadas

3.5.1. Umidade do solo

A umidade do solo foi determinada pelo método gravimétrico que consiste na coleta de amostras de solo em latas de alumínio e determinação da massa úmida e da massa seca em estufa a 105°C-110°C (por 24 horas) até peso constante e cálculo da diferença de peso em porcentagem conforme Donagema *et al.* (2011). Para a coleta foram abertas trincheiras de 60 cm na área da linha central. As amostras foram coletadas a três profundidades (0-20 cm; 20-40 cm; 40-60 cm) com três repetições de cada profundidade coletadas em perfis diferentes da trincheira. As amostras foram colocadas em latas de alumínio identificadas e de peso conhecido e em seguida pesadas em campo (determinação de massa úmida) e posteriormente levadas à estufa 105°C-110°C para secagem (determinação da massa seca) no NEPAU (Núcleo de Ensino e Pesquisas em Agricultura Urbana), localizada no Campus do Picí da Universidade Federal do Ceará - UFC, Fortaleza, Ceará, Brasil.

3.5.2. Trocas gasosas

A análise das trocas gasosas foi realizada com o auxílio de um analisador de gás infravermelho portátil (IRGA Modelo LI-6400XT, Licor, USA). As leituras foram realizadas nos períodos da manhã (entre 8 e 12 horas) e da tarde (entre 12 e 15 horas), sendo realizadas três repetições em três plantas de cada tratamento em folhas completamente expandidas e bom

estado fitossanitário sob luz saturante com densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos de aproximadamente $1.200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ e sob condições de temperatura e concentração de CO_2 ambientes. Foram determinadas as variáveis de assimilação líquida de carbono (A); taxa de transpiração (E); condutância estomática (g_s); eficiência intrínseca no uso da água (A/g_s); eficiência momentânea no uso da água (A/E); a temperatura da folha (T_{leaf}); concentração interna/externa de CO_2 (C_i/C_a) e a eficiência fotossintética no uso de Nitrogênio (A/N) e Fósforo (A/P), expressos em $\mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{mol}^{-1} (\text{N}) \text{s}^{-1}$ e $\mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{mol}^{-1} (\text{P}) \text{s}^{-1}$ respectivamente.

3.5.3. Índice SPAD

O índice SPAD foi estimado utilizando-se o clorofilômetro portátil Soil-Plant Analysis Development - SPAD-502 (Minolta Corp., Japão). Foram utilizadas folhas completamente expandidas localizadas no terço médio das plantas, no período entre as 08:00 – 10:00 horas da manhã. As leituras foram feitas em cinco pontos de cada folha a cada lado da nervura na face adaxial, sendo considerado o valor da leitura o cálculo da média. Foram realizadas cinco repetições por espécie em cada tratamento de condição hídrica. O índice SPAD foi correlacionado com o teor de clorofila na folha, mas deve-se salientar que é uma medida indireta, pois mede a intensidade da cor verde que pode ser relacionado com esse parâmetro.

3.5.4. Fluorescência da clorofila-a

Para medição das variáveis de fluorescência da clorofila-a foi utilizado um fluorômetro portátil (Plant Efficiency Analyser – MK2 – 9600, Hansatech, Norfolk, UK) sendo as leituras realizadas entre as 08:00 e 15:00 horas, em folhas completamente expandidas em temperatura ambiente, aclimatadas ao escuro (com clipes foliares) por 30 min. Em seguida as folhas foram expostas a um pulso de luz saturante durante 5 s, em uma área de 4 mm de diâmetro com um arranjo de 6 LEDs numa intensidade de $3.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, seguindo metodologia sugerida por Maxwell e Johnson (2000), procedendo três repetições por espécies em cada tratamento de condição hídrica. Foram determinadas as variáveis de fluorescência inicial (F_o); máxima (F_m); variável (F_v) e a da máxima eficiência do fotossistema II (F_v/F_m).

3.5.5. Área foliar específica e grau de suculência

Para a determinação da área foliar foram coletadas folhas em dois períodos (seco e chuvoso) correspondendo às épocas de novembro de 2012 e Maio de 2013. O material vegetal coletado foi pesado para determinação da massa fresca em seguida colocado em sacos plásticos, acondicionadas em caixas térmicas com gelo e transportadas para posterior determinação da área foliar utilizando o equipamento LI – 3100 (Li - Cor. Inc. Lincoln, Nebraska, USA) no laboratório de Fisiologia Vegetal do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular da Universidade Federal do Ceará. Em seguida, todo o material foi colocado em sacos de papel, secos em estufa de circulação de ar forçada a 60° C até atingir peso constante para determinações da massa seca de folhas.

De acordo com os dados de área foliar, massa seca foliar e massa fresca foliar foram calculadas a área foliar específica (AFE, dm² g⁻¹) e o grau de suculência (GS, g H₂O dm⁻²) mediante as equações 1 e 2 respectivamente:

$$AFE = AF/MSF \quad (1)$$

em que,

AF – área foliar, dm² planta⁻¹

MSF – massa seca foliar, g planta⁻¹

$$GS = (MFF - MSF)/AF \quad (2)$$

em que,

MF – massa fresca, g planta⁻¹

MS – massa seca, g planta⁻¹

AF – área foliar, dm² planta⁻¹

3.5.6. Teor de nitrogênio e fósforo das folhas

Para determinação dos teores de nitrogênio e fósforo das plantas foram realizadas duas coletas nos períodos de novembro 2012 e maio de 2013 representativos dos períodos

seco e chuvoso respectivamente, foram utilizadas as mesmas folhas usadas para a determinação da área foliar, cujo procedimento de coleta foi descrito anteriormente. As amostras vegetais da parte aérea (folhas) secas em estufa de circulação forçada de ar a 60°C (até peso constante) foram transportadas para o Laboratório de Solo, Água e Plantas da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, Ceará, onde foram trituradas em moinho tipo Willey (modelo MA 340, Marconi, BR), pesadas em balança de precisão e armazenadas em sacos plásticos à temperatura ambiente e enviadas para análise no Laboratório de Análise Química de Solo, Tecido Vegetal e Fertilizante no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – Minas Gerais.

A solubilização das amostras de tecido vegetal foi realizada por meio de digestão nítrico-perclórica para o P, e por meio de digestão sulfúrica para o N. O nitrogênio (N total) foi determinado pelo método semi-micro Kjeldahl; o fósforo (P) por espectrometria com amarelo de vanadato, seguindo os métodos preconizados por Embrapa (2009).

3.5.7. Análise de crescimento

Para fins de análise de crescimento foram realizadas medidas de altura da planta utilizando uma trena de 10 m, da base do caule até a ponta da folha mais alta, e o diâmetro do caule (após atingirem determinada altura passou-se a adotar a medida feita a 1,30 m do solo denominada Diâmetro a Altura do Peito) utilizando fita métrica. Foram realizadas quatro repetições, considerando cada repetição a média de três plantas, totalizando 12 plantas úteis na fileira central da parcela. As taxas de crescimento absoluto em altura (TCA (H), m mês⁻¹) e diâmetro (TCA (D), cm dia⁻¹) foram obtidas pela equação 3; e as taxas de crescimento relativo em altura (TCR (H), m m⁻¹ mês⁻¹) e em diâmetro (TCR (D), cm cm⁻¹ mês⁻¹) calculados pela equação 4:

$$TCA = (P_2 - P_1)/(T_2 - T_1) \quad (3)$$

em que,

P = variação do crescimento da planta

T = variação do tempo

$$\text{TCR} = (\text{LnP2} - \text{LnP1}) / (\text{T2} - \text{T1}) \quad (4)$$

em que,

P = variação do crescimento da planta

T = variação do tempo

Ln = logaritmo neperiano.

3.6. Análises estatísticas

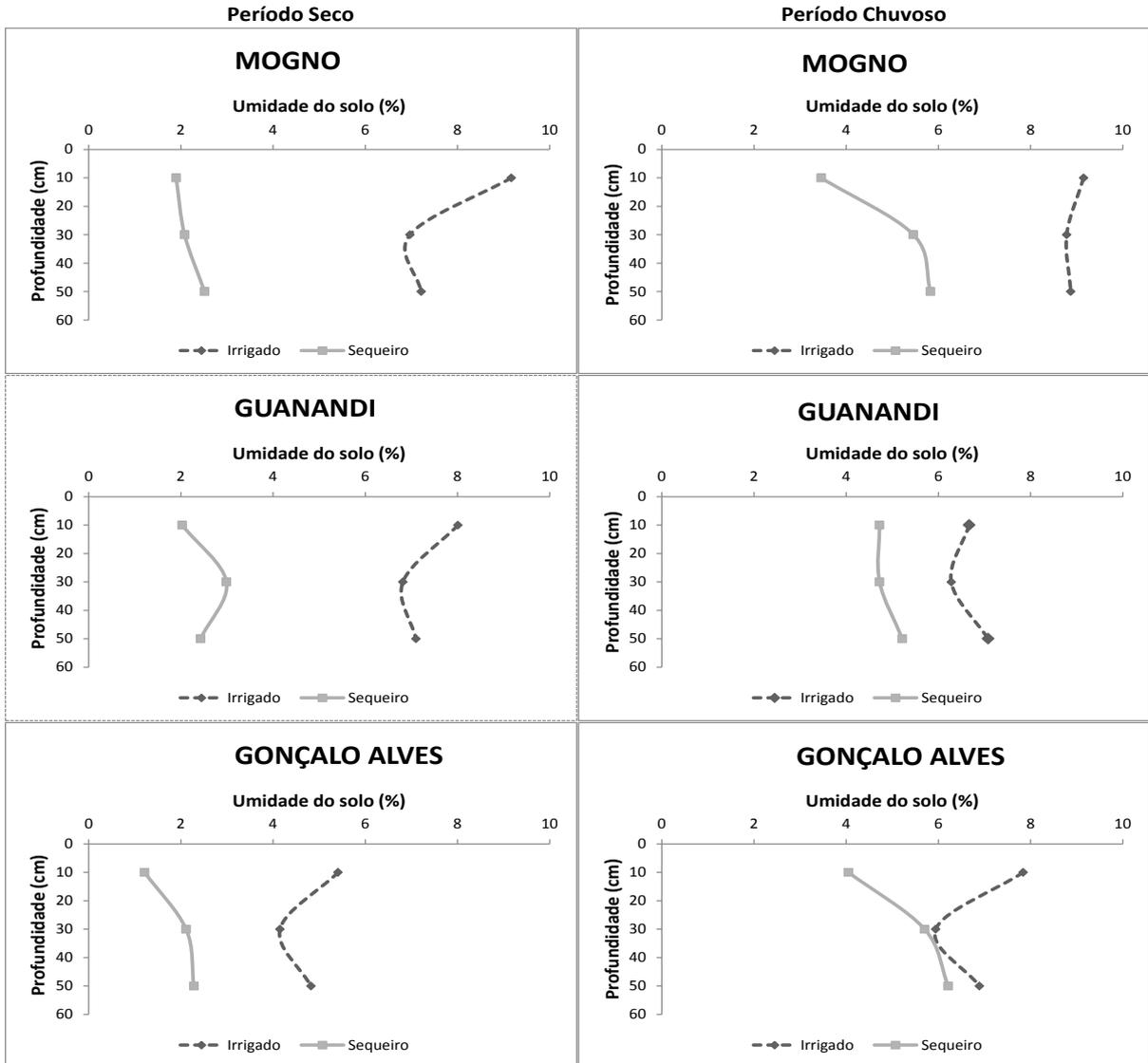
Os dados obtidos foram avaliados e submetidos a uma análise de variância com observações repetidas no tempo. Para os efeitos significativos de fatores isolados e interações foi aplicado o teste Tukey de comparação de médias a 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2008).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Umidade do solo

Os perfis de umidade do solo nas áreas de cada uma das seis espécies nos dois regimes hídricos (irrigado e sequeiro) nos períodos seco (novembro de 2012) e chuvoso (maio de 2013) encontram-se nas Figuras 10 e 11. Verificou-se que a umidade do solo nas áreas de sequeiro no período seco variou em torno de 1,0% a 2,52% ambas na área do marupá (Figura 11). Constatou-se também uma tendência nessas áreas de aumento da umidade nas camadas mais profundas, exceto na área do guanandi (Figura 10), o que pode ser explicado em parte pelas características físicas do solo que favorecem uma boa drenagem, além disso, na camada superficial a extração de água pela zona radicular rasa é maior do que nas camadas subsuperficiais o que contribui para a manutenção da umidade mais alta nas camadas mais profundas de 20 – 40 cm e 40 – 60 cm, fazendo com que haja maior condução da água em direção as camadas mais profundas.

Figura 10 - Perfil da umidade do solo nas áreas irrigadas e de sequeiro plantadas com Mogno (*Swietenia macrophylla* King), Guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess.) e Gonçalo Alves (*Astronium fraxinifolium*) nos períodos seco e chuvoso. Acaraú-CE, 2013.



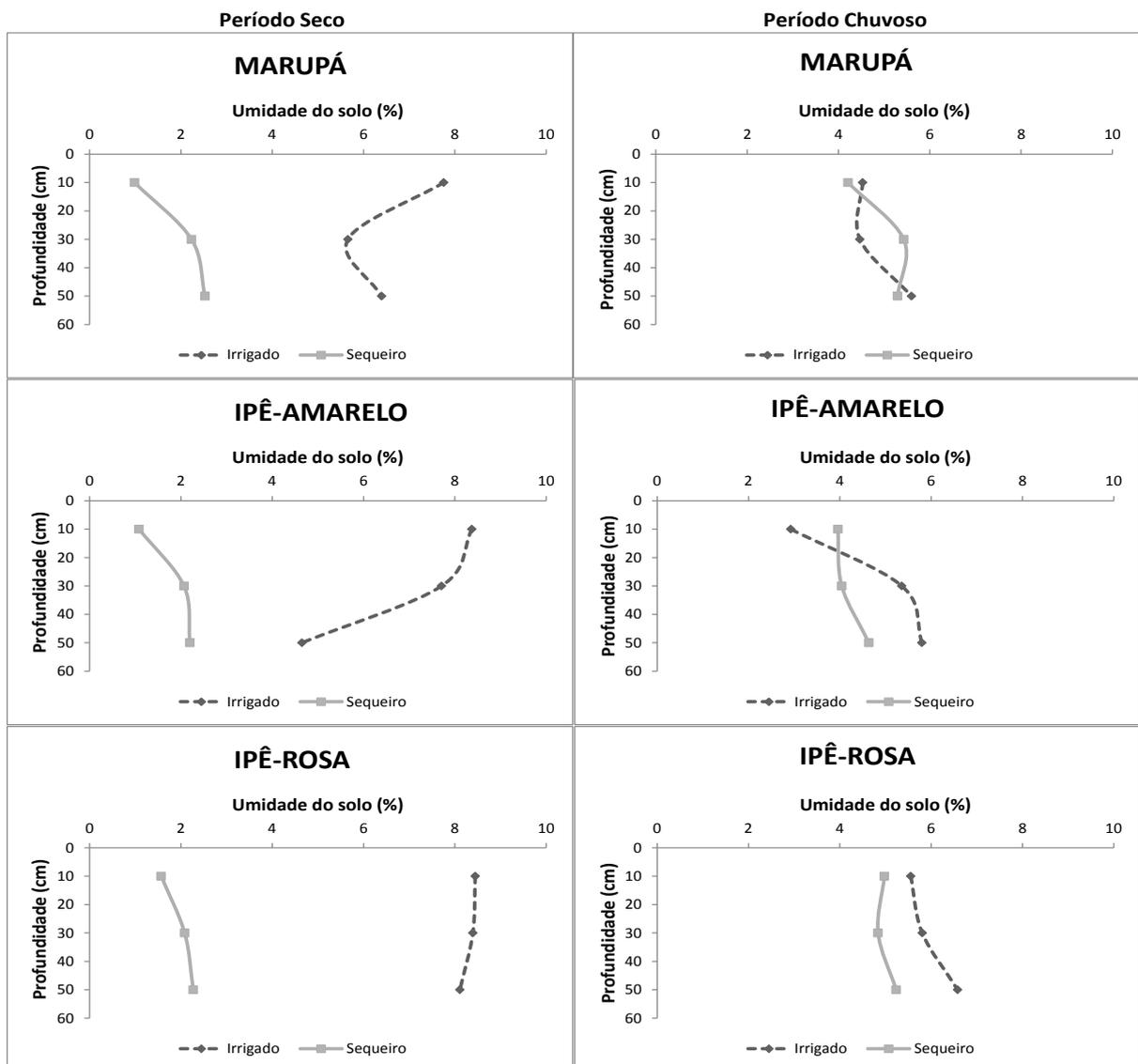
Fonte: Elaboração do autor

O fato da área do guanandi não ter apresentado maior umidade na camada mais profunda (40 -60 cm), pode ser relacionado com o baixo crescimento dessa espécie em relação às outras, apresentando menor porte o que pode ter refletido também em menor desenvolvimento da zona radicular profunda e assim não ter exercido influência nessa camada em regime de sequeiro.

Oki (2002) em trabalho com *pinus* constatou melhorias na manutenção da umidade do solo influenciando diretamente no balanço hídrico da área plantada, além de diminuir a saída de nutrientes na microbacia da região. Em relação à área irrigada o perfil de umidade do solo apresentou tendência contrária a de sequeiro, apresentado maiores umidades

na camada mais superficial (0 -20 cm) variando de 5,41% na área do Gonçalo Alves (Figura 11) a 9,16% na área do mogno (Figura 10). Esse maior teor de umidade na camada superficial está associado à alta frequência de irrigação que favorecia maior umidade na camada superficial.

Figura 11 - Perfil de umidade do solo nas áreas irrigadas e de sequeiro plantadas com Marupá (*Simarouba amara* Aubl.), Ipê-Amarelo (*Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nich.) e Ipê-Rosa (*Tabebuia impetiginosa*) nos períodos seco e chuvoso. Acaraú-CE, 2013.



Fonte: Elaboração do autor

Vital *et al.*, (1999) observou que a área plantada com eucalipto diminuiu o deflúvio proporcionando maior entrada de água no solo, enquanto Facco *et al.*, (2012) verificaram que as florestas de eucalipto regulam o escoamento de água em microbacias

hidrográficas. Almeida e Soares (2003) constataram que plantações de eucalipto se comparam a mata atlântica quanto a evapotranspiração e ao uso de água no solo, como também na eficiência no uso de reservas hídricas em anos de menor precipitação. Kennan *et al.* (2006) e Van Dijk e Kennan (2007) concluem que a substituição de terras com agricultura convencional por plantações florestais pode reduzir o escoamento e o fluxo superficial anual devido ao aumento da cobertura florestal e em alguns casos, podem aumentar a recarga do lençol freático por meio da melhoria da infiltração de água no solo.

A umidade do solo nas áreas de sequeiro durante o período seco ficou abaixo do ponto de murcha permanente do solo que varia de 3,11% na camada de 0-20 cm; 2,95% na camada de 20-50 cm e 3,27% na camada de 50-80 cm (Tabela 2) verificando-se valores de umidade média em torno de 2,16 % na área do mogno, 2,48% na área do guanandi, 1,86% na área do gonçalo alves , 1,91% na área do marupá, 1,78% na área do ipê-amarelo e 1,97 na área do ipê-rosa (Figuras 10 e 11). Esses dados sugerem que essas plantas fizeram maior uso de água das camadas abaixo de 60 cm de profundidade para se manterem, pois há uma tendência de aumento de umidade nas camadas mais profundas em épocas de seca como citado anteriormente. Nas áreas irrigadas a umidade do solo manteve-se acima da capacidade de campo que varia de 4,02% na camada de 0-20 cm; 4,38% na camada 20-50 cm e 4,62% na camada de 50-80 cm. As umidade médias nessas áreas foram de 7,78% na área do mogno, 7,30 na área do guanandi, 4,79% na área do gonçalo alves, 6,60% na área do marupá, 6,91% na área do ipê-amarelo e 8,31% na área do ipê-rosa (Figura 10 e 11).

Com relação ao período chuvoso verifica-se nas áreas de sequeiro um aumento na disponibilidade de água no solo que pode ser evidenciado pelo aumento da umidade em todas as camadas de 0-60 cm (Figura 10 e 11). O aumento de umidade em relação ao período seco foi de 93,9% na área do mogno, 96,7% na do guanandi, 186,0% na do gonçalo alves, 160,2% na do marupá, 147,6% na do ipê-amarelo e 154,3% na do ipê-rosa o que demonstra a grande variação da umidade do solo em relação as duas épocas na região. Na época chuvosa as condições de umidade das áreas de sequeiro praticamente igualam-se as áreas irrigadas, exceto no mogno e guanandí (Figura 10) onde foi verificada maior diferença entre as áreas.

A relação entre as florestas plantadas e a água varia dependendo da região, espécie, condições de clima e práticas de manejo do solo empregado levando-se em consideração uma visão de escala de microbacia hidrográfica (ANDRÉASSIAN, 2004; BROWN *et al.*, 2005; VAN DIJK; KEENAN, 2007). As discussões sobre o assunto sugerem que para se ter a adequada manutenção da disponibilidade de água no solo são necessários estratégias de manejo no sentido de se analisar previamente as condições de disponibilidade

hídrica natural da região, assim como o planejamento da irrigação. Nesse sentido a umidade do solo em regiões de baixa-média precipitação pluviométrica, como é o caso da região do baixo Acaraú, deve ser levado em conta no planejamento do manejo de florestas plantadas tendo em vista que nessas áreas a demanda evaporativa é alta e a transpiração dessas plantas é um importante mecanismo de transferência de água do solo para a atmosfera. Segundo Pallardy (2008) aproximadamente 95% da água absorvida pelas raízes é liberada para a atmosfera pela planta como vapor d'água por meio da transpiração.

As características físicas do solo também representam um importante fator no manejo de água no solo em regiões florestais. Huber e Trecamam (2004) em estudo com *Pinus radiata* relacionaram baixas taxas de transpiração com solos de boa capacidade de retenção de água. No presente trabalho a característica física mais evidente foi a capacidade de infiltração proveniente da textura do solo que varia de areia na profundidade de 0 – 20 cm com densidade global de 1,51 g cm⁻¹ a areia franca na profundidade de 50 – 80 cm com densidade global de 1,50 g cm⁻¹ e influenciou na variação do perfil de umidade no solo da área plantada (Tabela 2). A capacidade de infiltração constitui uma variável física de elevada importância, pois influencia diretamente na recarga do lençol freático. Segundo Ilstedt *et al.* (2007) a infiltração de água no solo aumenta em média três vezes mais após o plantio de árvores em regiões agrícolas, havendo uma restauração dos processos hidrológicos do solo no sentido do equilíbrio entre a evapotranspiração e as taxas de infiltração. Com altas taxas de infiltração, a bacia como um todo atuará na produção de água e, a floresta ripária consumirá água, mas os maiores consumos serão compensados pela maior infiltração em toda a superfície da bacia (VALENTE; GOMES, 2005).

Para Bruijnzeel (2004) deveria ser dada maior atenção à base geológica que controla o comportamento hidrológico da microbacia quando se analisa os efeitos das mudanças do uso do solo sobre os fluxos superficiais ou a produção de sedimentos e segundo Van Dijk e Kennan (2007) esses estudos também dependem da hidrologia da região e das características das espécies arbóreas. Caldato e Shumacher (2013), em uma vasta revisão sobre o assunto, concluem que os principais estudos estão direcionados principalmente para *Eucalyptus grandis* na região sudeste, o que se justifica sendo a espécie e região de maior importância e concentração das plantações, e reforçam que pouco se sabe sobre o comportamento hídrico desta espécie e de outras espécies importantes para o setor florestal em distintas regiões do país, havendo muito para se avançar nesse campo de pesquisa. No que se refere a estudos de regiões florestais a umidade do solo, no sentido de função hidrológica, representa uma variável de suma importância para o entendimento de respostas fisiológicas e

consequentemente de produtividade, assim como, pode ser considerado como base para estudos referentes a déficit hídrico em plantas.

4.2. Trocas gasosas

4.2.1. Taxa de fotossíntese (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E) e eficiência do uso da água

Verificou-se que no período da manhã a taxa fotossintética, condutância estomática e a transpiração foram influenciadas pelos fatores isolados (espécie, regime hídrico e época), assim como pela interação regime hídrico vs época. Para a variável de eficiência intrínseca do uso da água verificou-se que apenas a interação espécie vs regime hídrico não apresentou efeito significativo e para a variável de eficiência momentânea do uso de água apenas o fator isolado espécie e a interação espécie vs regime hídrico não apresentaram efeito significativo (Tabela 3).

Tabela 3 - Resumo da análise de variância para as variáveis: taxa fotossintética (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E), eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) e eficiência momentânea do uso da água (A/E) no período da manhã em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro nas épocas nos meses de novembro, fevereiro e maio. Acaraú-CE, 2013.

F.V	G.L	Quadrados médios				
		A	g_s	E	A/g_s	A/E
Espécie (a)	5	113,39**	0,121**	37,35**	1533,0*	0,326 ^{n.s}
Resíduo - a	12	5,96	0,007	1,68	396,2	0,203
Regime hídrico (b)	1	565,43**	0,249**	43,08**	2132,9*	2,14**
a x b	5	27,52 ^{n.s}	0,003 ^{n.s}	3,66 ^{n.s}	159,9 ^{n.s}	0,283 ^{n.s}
Resíduo - b	12	8,97	0,007	2,20	334,3	0,192
Época (c)	2	40,09*	0,130**	56,12**	15117,1**	1,314**
a x c	10	10,27 ^{n.s}	0,010 ^{n.s}	3,48 ^{n.s}	1160,6**	0,475**
b x c	2	127,32**	0,077**	36,88**	6378,9**	4,33**
a x b x c	10	10,21 ^{n.s}	0,013 ^{n.s}	2,59 ^{n.s}	964,9**	0,760**
Resíduo - c	48	8,17	0,007	1,84	287,9	0,116
Total	107					
CV a (%)		18,95	28,76	20,09	38,05	21,95
CV b (%)		23,24	29,13	22,97	34,95	21,31
CV c (%)		22,18	29,00	21,04	32,43	16,56

G.L – graus de liberdade; (a) – espécie; (b) – regime hídrico; (c) – época; CV – coeficiente de variação; **, *, ^{n.s} – significativo pelo teste tukey a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

Na medição realizada no período da tarde, verificou-se efeito significativo dos fatores isolados e de todas as interações sobre a taxa fotossintética e a transpiração. Para as variáveis de condutância estomática e eficiência momentânea do uso de água apenas a interação tripla entre os fatores não apresentou efeito significativo. A eficiência intrínseca do uso da água foi influenciado apenas pelos fatores regime hídrico e época isoladamente (Tabela 4).

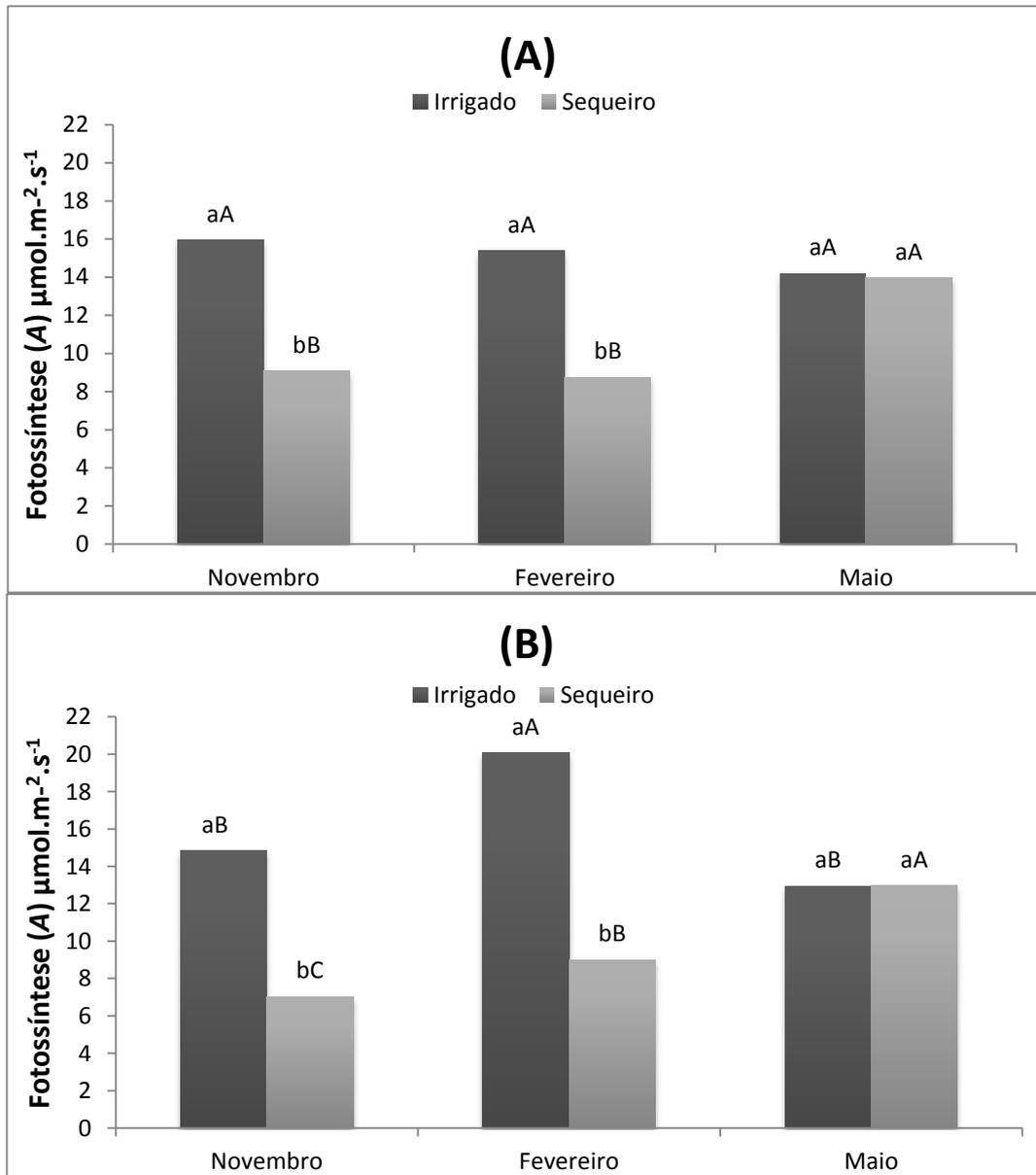
Tabela 4 – Resumo da análise de variância para as variáveis: taxa fotossintética (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E), eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) e eficiência momentânea do uso da água (A/E) no período da tarde em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro nos meses de novembro, fevereiro e maio. Acaraú-CE, 2013.

F.V	G.L	Quadrados médios				
		A	g_s	E	A/g_s	A/E
Espécie (a)	5	181,48**	0,150**	66,59**	783,19 ^{n.s}	0,822**
Resíduo - a	12	4,74	0,004	0,89	362,84	0,145
Regime hídrico (b)	1	1064,38**	0,207**	70,23**	1372,08*	7,44**
a x b	5	38,58**	0,026*	21,32**	451,18 ^{n.s}	0,469*
Resíduo - b	12	6,31	0,006	1,41	242,48	0,120
Época (c)	2	117,65**	0,264**	101,60**	4731,28**	1,933**
a x c	10	17,92**	0,014**	3,57*	549,76 ^{n.s}	0,481*
b x c	2	291,73**	0,156**	28,91**	116,70 ^{n.s}	2,216**
a x b x c	10	12,01*	0,007 ^{n.s}	4,07**	239,15 ^{n.s}	0,237 ^{n.s}
Resíduo - c	48	5,83	0,004	1,42	370,90	0,183
Total	107					
CV a (%)		17,00	23,54	12,66	40,14	22,58
CV b (%)		19,61	26,92	15,92	32,81	20,54
CV c (%)		18,92	23,59	15,93	40,58	25,35

G.L – graus de liberdade; (a) – espécie; (b) – regime hídrico; (c) – época; CV – coeficiente de variação; **, *, ^{n.s} – significativo pelo teste tukey a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

Observa-se na Figura 12 a variação da taxa da fotossíntese em plantas irrigadas e de sequeiro em função das épocas de avaliação nos períodos da manhã (A) e da tarde (B). Levando em consideração a interação regime hídrico vs época no período da manhã verifica-se que nos meses de novembro e fevereiro as taxas de assimilação de CO₂ foram afetadas significativamente nas plantas de sequeiro com reduções de 75,74% em novembro e 75,57% em fevereiro, decorrentes do estresse hídrico ocasionado pelo período de estiagem. Posteriormente no período chuvoso observa-se uma recuperação das plantas de sequeiro em resposta a disponibilidade de água no solo. No período da tarde o padrão de resposta é semelhante, mas com maiores perceptuais de queda na taxa de fotossíntese no período seco com redução de 110,95% e 122,75%, respectivamente nos meses de novembro e fevereiro.

Figura 12 - Taxa fotossintética (A) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função das épocas nos períodos da manhã (A) e tarde (B). Acaraú-CE, 2013.



Médias seguidas da mesma letra não diferem dentre entre si a 5% de probabilidade, pelo teste tukey. Letras minúsculas (entre tratamentos de regime hídrico) e maiúsculas (entre épocas dentro do mesmo regime hídrico) Fonte: Elaboração do autor.

Em relação ao efeito das épocas nas taxas de assimilação de CO_2 verifica-se que as plantas irrigadas não alteram significativamente a A nas diferentes épocas que pode ser explicado pela disponibilidade de água no solo que não variou de forma contrastante para essas plantas, entretanto, no mês de fevereiro no período da tarde observou-se altos valores de A que pode ser atribuído a condições de radiação solar decorrentes dessa época. Nas plantas

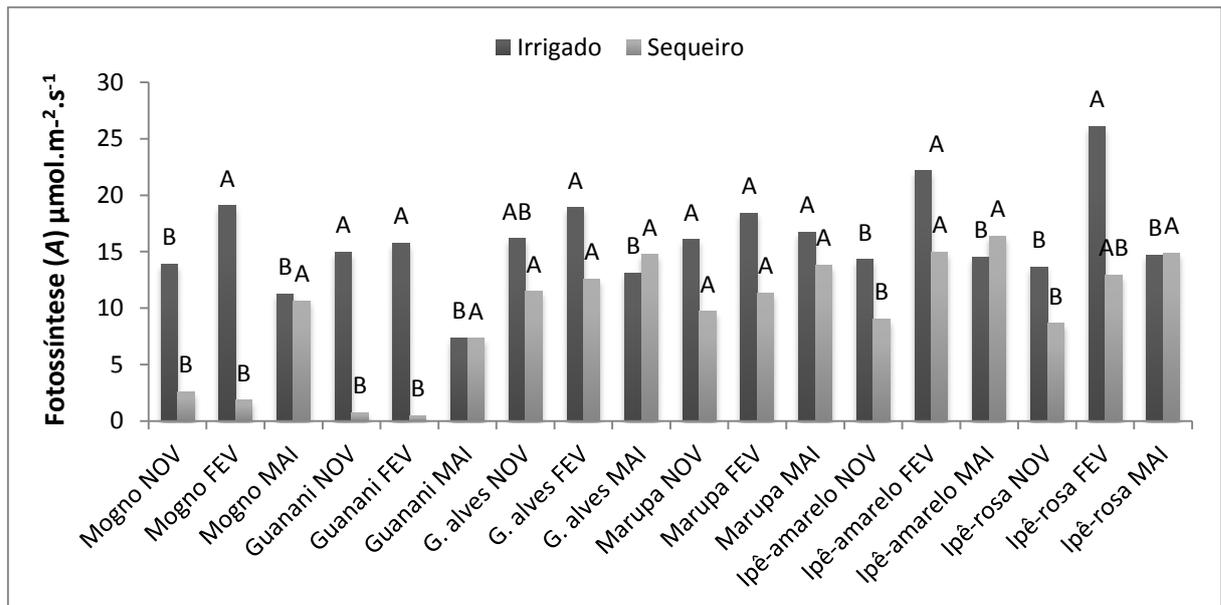
no regime de sequeiro verifica-se a distribuição da pluviosidade durante o ano exerce influência nas taxas de fotossíntese nessas condições de regime hídrico, de forma que apresentam menores valores nas épocas de estiagem e um aumento expressivo na época chuvosa. A fotossíntese chega a valores mínimos no mês de novembro com $7,03 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ observado no período da tarde.

Na Figura 13 observa-se a variação da taxa de fotossíntese levando em consideração a interação tripla entre os fatores, representando a interação espécie vs época nos dois regimes hídrico no período da tarde. Verifica-se que com exceção do guanandi todas as espécies na condição irrigada obtiveram maiores valores de A no mês de fevereiro, como a disponibilidade de água no solo não foi um fator limitante, outro fator intrínseco á essa época pode ter influência nesse maior pico de assimilação de CO_2 , provavelmente a intensidade luminosa ou radiação fotossinteticamente ativa. Nas plantas de sequeiro observa-se uma maior variação nas taxas de fotossíntese tanto em relação às épocas como no comportamento das diferentes espécies. Observou-se que o mogno e o guanandi apresentaram menores valores de A nos meses de novembro e fevereiro, correspondente a época de estiagem. As espécies ipê-marelo e ipê-rosa obtiveram significativamente menores taxas somente no mês de novembro, referente ao período mais seco, enquanto as espécies gonçalo alves e marupá não alteraram de forma significativa as taxas de fotossíntese. Com relação à variação da A constatou-se nas seis diferentes espécies três padrões de resposta diferente de acordo com as diferentes épocas de pluviosidade.

A redução mais acentuada na capacidade fotossintética foi constatada no guanandi e no mogno com valores de $0,46$ e $1,82 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente observadas no mês de fevereiro. O grau de intensidade do estresse hídrico foi mais acentuado nessas espécies por se tratarem de espécies típicas de regiões úmidas da região Amazônica demonstrando a susceptibilidade ao ambiente de pouca água no solo proporcionado pelo ambiente de sequeiro. No caso do guanandi observou-se uma desidratação parcial das folhas tornando-se amareladas e com aspecto encarquilhado em algumas plantas. O ipê-amarelo e o ipê-rosa apesar de terem sido afetadas pelo estresse hídrico nas diferentes épocas apresentaram uma recuperação na capacidade fotossintética no mês de fevereiro, referente ao final da seca, essa recuperação pode está associada ao pequeno volume de chuva observado no início do ano de 2013, que apesar da pouca quantidade pode ter sido suficiente para que essas espécies desenvolvessem mecanismos para o aumento das taxas de assimilação de CO_2 , como por exemplo, o aumento da área foliar, característico das plantas da Caatinga. Diferentemente das outras espécies o gonçalo alves e o marupá não apresentaram redução expressiva nas taxas de A com a variação

da disponibilidade de água no solo o que sugere que essas espécies apresentam mecanismos fisiológicos mais eficientes na tolerância a condições de sequeiro em relação a capacidade fotossintética.

Figura 13 - Taxa fotossintética (A) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro nos meses de novembro, fevereiro e maio no período da tarde. Acaraú-CE, 2013.



Médias seguidas da mesma letra não diferem dentre entre si a 5% de probabilidade, pelo teste tukey. Fonte: Elaboração do autor.

A resposta dessas espécies são semelhantes aos obtidos em plantas de *Khaya ivorensis* (ALBUQUERQUE *et al.*, 2013), *Carapa guianensis* (GONÇALVES *et al.*, 2009), *Minuartia guianensis* (LIBERTAO *et al.*, 2006) e em *eucalyptus* e *acácia spp.* (WARREN *et al.*, 2011) em *Swietenia macrophylla* e *Tabebuia serratifolia* (CORDEIRO, 2012) e *Anacardium occidentale* L. em algumas épocas do ano (LIMA *et al.*, 2010). A redução de A, em plantas submetidas ao déficit hídrico, ocorrem por diversas razões, tais como limitação estomática ao fluxo de CO₂, danos ao aparato fotoquímico da fotossíntese, redução na síntese de ATP, e diminuição da atividade da Rubisco (Ribulose-1,5-bifosfato carboxilase oxigenase) ou em sua taxa de regeneração (FLEXAS; MEDRANO, 2002).

Segundo Larcher (2006) a capacidade fotossintética altera-se sazonalmente em função das adaptações às condições ambientais. Plantas perenes de regiões com períodos alternados de chuva e seca produzem folhas morfologicamente distintas e comportamento fotossintético em função de cada estação. Mendes *et al.*, (2013) em trabalho com *Cordia*

oncocalyx caracteriza bem essa alteração nas respostas fisiológicas durante alguns dias após o fim da estação das chuvas no semiárido brasileiro.

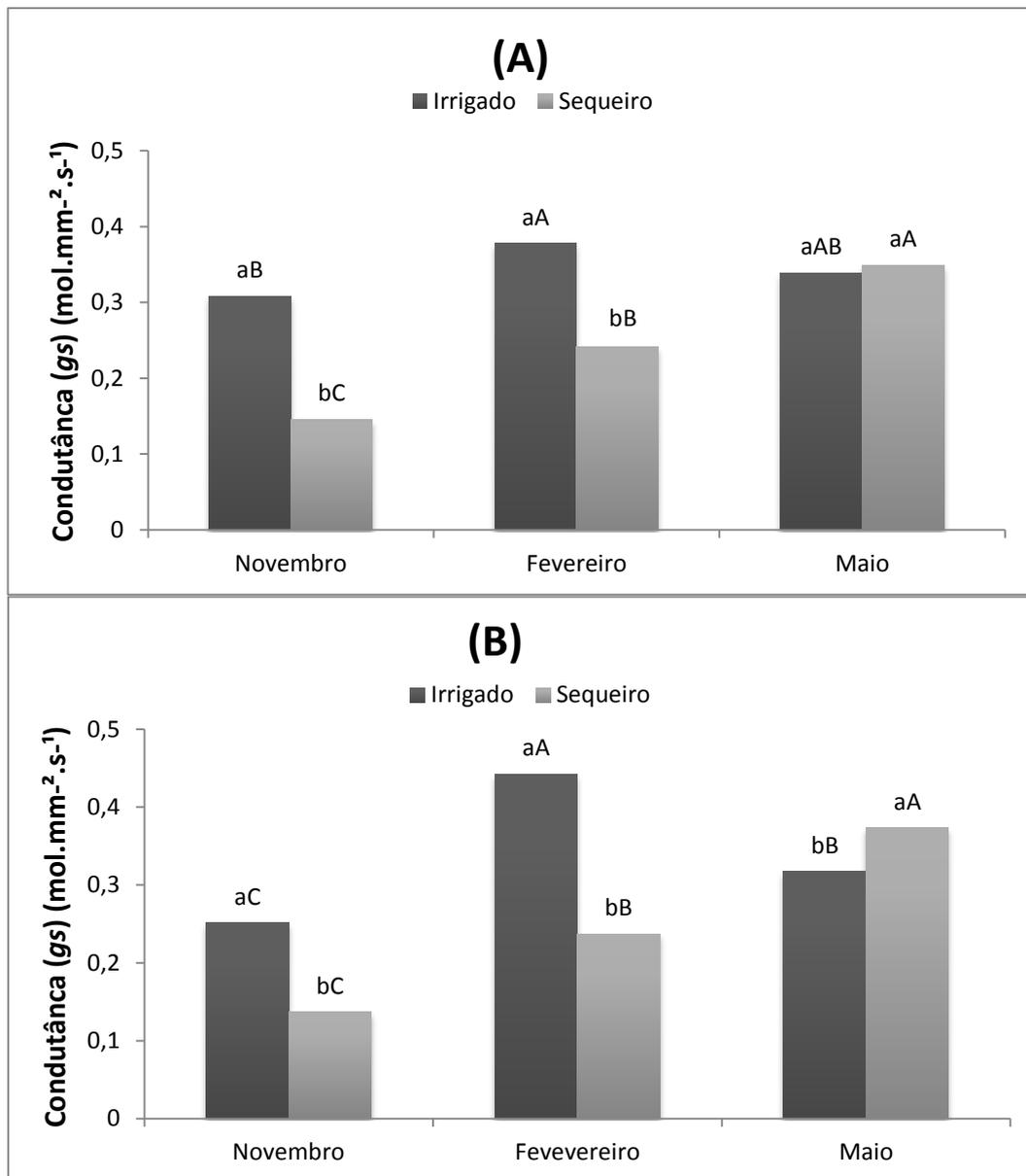
Os resultados mostram que os padrões de resposta da taxa de assimilação de carbono acontecem de maneiras diferentes para as espécies, apresentando limitação do trabalho fotossintético causado pelos fatores ambientais nas diferentes épocas, sendo que efeitos mais negativos foram observados em espécies nativas da Amazônia (mogno e guanandi). As demais espécies apresentaram uma melhor adaptação a condições de baixa disponibilidade de água no solo durante o período seco. Essa adaptação não é ajustada visando a mais alta capacidade, mas sim a melhor relação entre ganhos e riscos. Esse padrão de resposta é descrito por Blackman, (1905). Palhares *et al.* (2010) em trabalho com respostas fotossintéticas em plantas do serrado nas estações seca e chuvosa, verificou que no período seco, existem espécies que deprimem a taxa fotossintética de carbono em até 50%, enquanto que em outras espécies se mantêm inalterada, e reforça relacionando com características adaptativas como a redução da área foliar e o armazenamento de reservas no caule e sistema subterrâneo. Em relação às respostas fotossintéticas entre as espécies, as diferenças genéticas são bastante consideráveis. As causas de diferentes capacidades fotossintéticas residem em particularidades anatômicas das folhas (facilidade com que o ar pode se difundir nos espaços intercelulares, forma e distribuição do aparato estomático) e na eficiência e quantidade de enzimas de carboxilação (LARCHER, 2006).

Em relação à condutância estomática em função do regime hídrico nas diferentes épocas Figura 14 verificou-se que nos meses de novembro e fevereiro, referentes à estação seca as plantas em condições de sequeiro apresentaram valores de condutância estomática menor em relação às plantas em condições irrigadas com redução de 110,95% e 56,84% no período da manhã e 82,23% e 86,49% no período da tarde nos respectivos meses de novembro e fevereiro. Esses resultados demonstram que essas plantas promovem o fechamento estomático para diminuir a perda de água quando expostas a condições de déficit hídrico.

Sob condições de estresse, especialmente hídrico e salino, o fechamento estomático pode ser visto como uma resposta positiva da planta para a manutenção de água (TAIZ; ZEIGER, 2013). Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Tonello e Filho (2012) que constataram a diminuição dos valores de condutância estomática em *Pterogyne nitens*, *Aspidosperma polyneuron* e *Myroxylum peruiferum* quando submetidas a diferentes disponibilidades de água no solo. Segundo Chaves *et al.* (2004) plantas que reduzem a abertura dos estômatos em situação de déficit hídrico são mais conservativas no uso de água, esses mesmos autores avaliando clones de eucalipto em condições irrigadas e de

sequeiro, não observaram diferença significativa entre os tratamentos hídricos em relação à condutância estomática. No período chuvoso não foi observado diferença significativa entre os regimes, demonstrando que não ocorreu limitação na disponibilidade de água no solo nessa época e não influenciou assim a g_s .

Figura 14 - Condutância estomática (g_s) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função das épocas nos períodos da manhã (A) e tarde (B). Acaraú-CE, 2013.



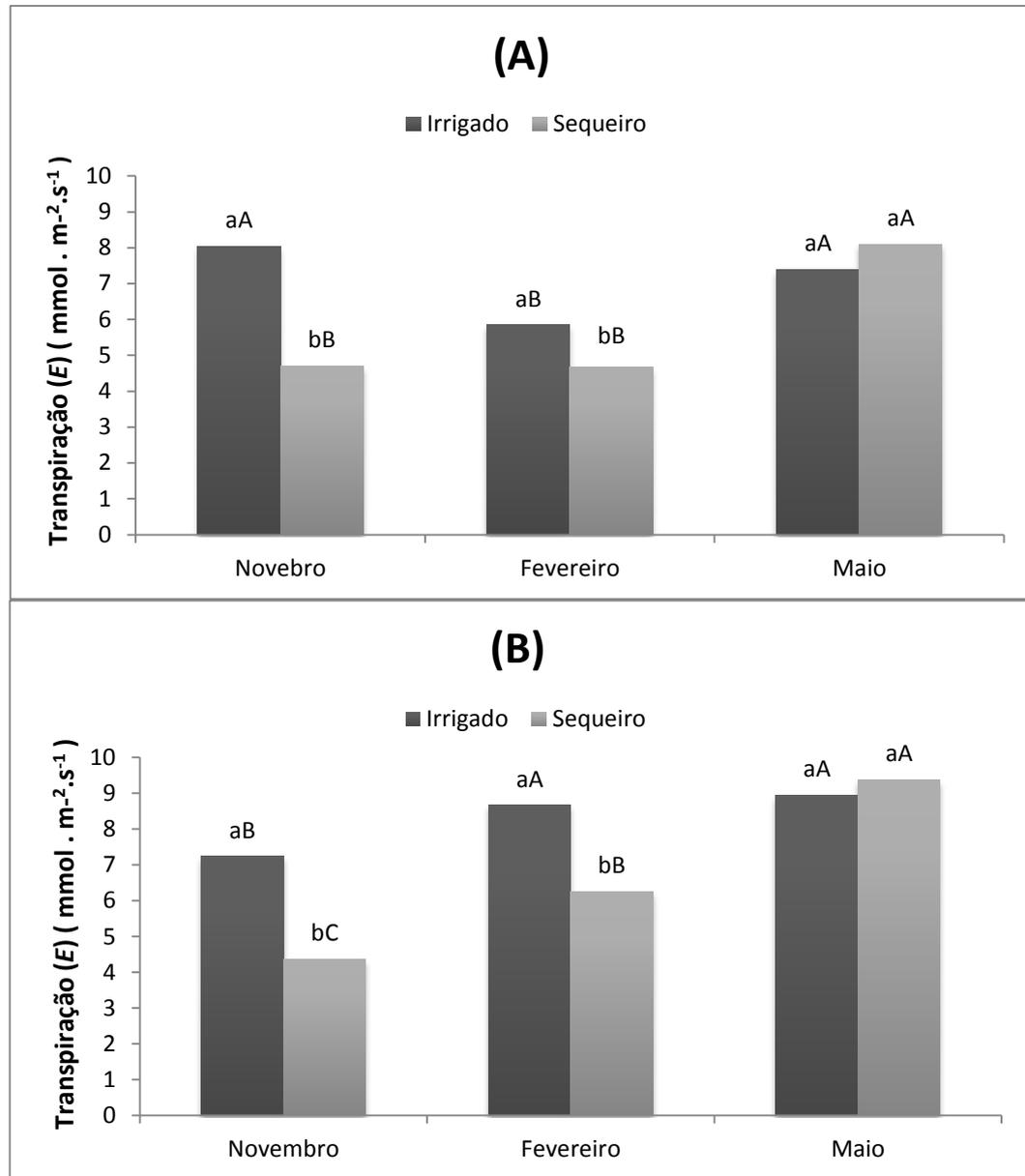
Médias seguidas da mesma letra não diferem dentre entre si a 5% de probabilidade, pelo teste tukey. Letras minúsculas (entre tratamentos de regime hídrico) e maiúsculas (entre épocas dentro do mesmo regime hídrico) Fonte: Elaboração do autor.

Com relação à variação da condutância estomática nas épocas (Figura 14) nos dois diferentes regimes, observa-se um aumento na g_s das plantas irrigadas no mês de fevereiro nos dois turnos, essa variação pode ter sido influenciada por fatores ambientais mas também pelo manejo da irrigação que é suspensa na época chuvosa, o que pode explicar a queda nos valores de g_s nas condições irrigadas. Nas plantas de sequeiro a g_s foi influenciada significativamente aumentando de acordo com a condição de disponibilidade hídrica inerente as épocas. A redução da g_s foi de 170,48% se comparado à época mais chuvosa em relação a época mais seca, evidenciando a regulação estomática ocorrida nas plantas em resposta a uma melhor condição de água no solo. Para as plantas irrigadas essa redução foi de 76,20% no caso mais extremo.

Observa-se claramente que o efeito nas plantas de sequeiro foi bem mais intenso diante da severidade do estresse. A pequena redução nas plantas irrigadas entre os períodos pode ter sido causada por condições características da estação seca, como o maior déficit de pressão de vapor influenciando na g_s mesmo em condições de boa disponibilidade de água no solo. Silva *et al.* (2008) em trabalho com *Schinus terebinthifolius* observam uma redução da g_s nessa planta quando submetida a diferentes regimes hídricos. Rodrigues *et al.* (2011) ao investigar o efeito da sazonalidade climática na condutância estomática em *Jatropha curcas* nas condições do semiárido, constatou um decréscimo da g_s nas épocas de menor precipitação pluviométrica, e observou que além da disponibilidade de água no solo outros fatores como temperatura do ar e radiação fotossinteticamente ativa influenciaram nas respostas fisiológicas nessa espécie. Já em regiões em que a sazonalidade das épocas de precipitação pouco altera a umidade do solo, observa-se que a g_s sofre pouca alteração, como relata Mendes e Marengo (2010) em trabalho com dez espécies nativas na região da Amazônia Central, embora as taxas de fotossíntese máxima serem mínimas no período seco. Segundo Larcher (2006) o grau de abertura estomática se ajusta continuamente às oscilações dos fatores ambientais. Nas plantas vasculares, a deficiência hídrica afeta primeiramente o aparato estomático, mesmo que o ar seco cause o fechamento dos estômatos, a deficiência de água no solo pode atuar ao mesmo tempo, amplificando esse efeito.

Com relação à transpiração observa-se na Figura 15 o desdobramento da interação regime hídrico vs época no turno da manhã (A) e tarde (B), verifica-se semelhantemente nos dois turnos que as taxas transpiratórias foram reduzidas significativamente nas condições de regime de sequeiro nas épocas de seca (novembro e fevereiro), com reduções mais expressivas no turno da tarde apresentando valores 65,67% e 38,56% menores, respectivamente nos meses de novembro e fevereiro, comparado com as condições irrigadas.

Figura 15 - Taxa de transpiração (E) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função das épocas nos períodos da manhã (A) e tarde (B). Acaraú-CE, 2013.



Médias seguidas da mesma letra não diferem dentre si a 5% de probabilidade, pelo teste tukey. Letras minúsculas (entre tratamentos de regime hídrico) e maiúsculas (entre épocas dentro do mesmo regime hídrico) Fonte: Elaboração do autor.

No mês de maio ocorreu um aumento na E em resposta a maior disponibilidade hídrica nessa época não apresentando diferença significativa entre os dois regimes hídricos. As variações das taxas transpiratórias seguiram a mesma tendência da condutância estomática Figura 14 em plantas submetidas a regime de sequeiro, o que mostra que as plantas diminuem as perdas de água por transpiração por meio do fechamento estomático de acordo com as

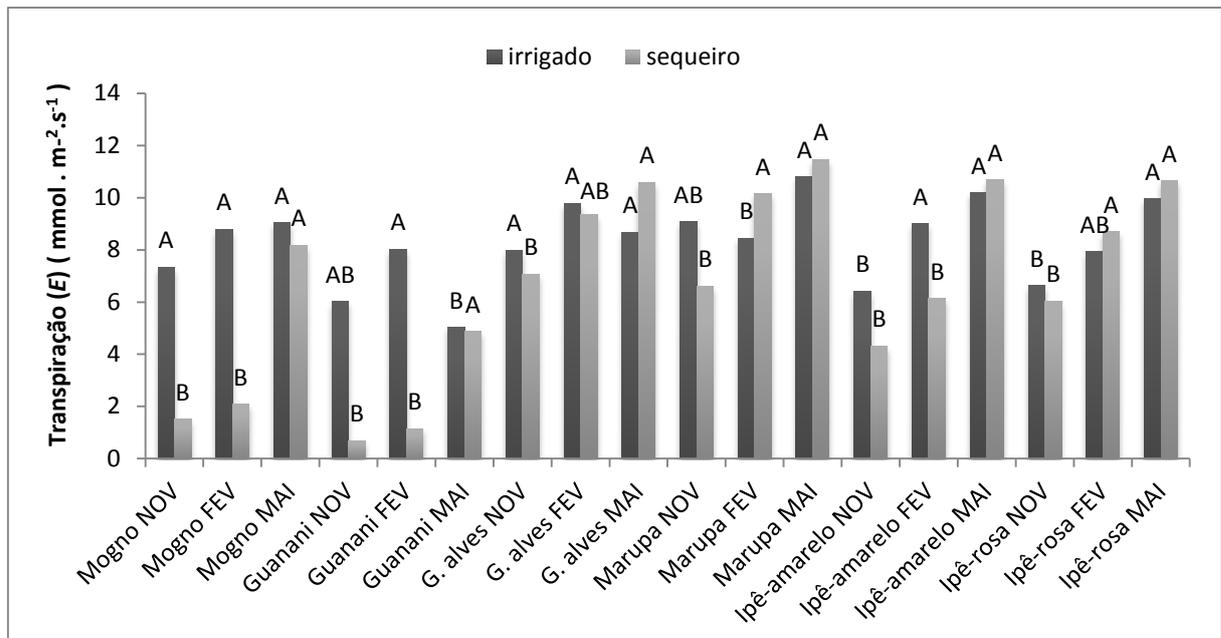
condições de disponibilidade hídrica. Nas plantas irrigadas observa-se uma queda na transpiração apesar da condutância ter sido alta, que pode ter sido influenciada por temperaturas mais baixas pela manhã, porém no turno da tarde a E aumenta. Esses resultados corroboram com Cordeiro *et al.* (2009) que verificaram menores taxas de transpiração em plantas de *Swietenia macrophylla* quando submetidas a deficiência hídrica concluindo que essa espécie é eficiente no controle das taxas transpiratórias. Esse comportamento também é semelhante ao encontrado por Scalon *et al.* (2011) em trabalho com *Guazuma ulmifolia*, onde as taxas de transpiração foram menores quando submetidas a menor fornecimento de água. Nogueira e Silva (2002) verificaram esse mesmo efeito em *Schinopsis brasiliensis* após a suspensão da irrigação.

Na Figura 16 observa-se que se levando em conta a interação tripla entre os fatores considerando a interação espécie vs época nos dois regimes hídricos no turno da tarde, verifica-se que em condições irrigadas o mogno e o gonçalo alves não alteraram de forma significativa a E nas épocas. O marupá, ipê-amarelo e ipê-rosa apresentaram maiores taxas transpiratórias no período chuvoso em maio quando há uma maior disponibilidade de água no solo, enquanto que o guanandi apresenta a maior taxa de E no final da época seca no mês de fevereiro. Com relação às plantas em regime de sequeiro observou-se que o mogno, guanandi e ipê-amarelo apresentaram menores taxas de E significativamente nos meses mais secos (novembro e fevereiro) em relação ao mês de maio, sugerindo que essas espécies são mais eficientes na economia de água por meio do controle do fechamento estomático diminuindo as taxas de transpiração. Neto (2003) constatou essa redução ao longo do ano em *Mangifera indica* onde menores valores foram observados nos períodos de estresse hídrico.

A redução da transpiração em plantas submetidas ao déficit hídrico, ajuda na conservação da água disponível. Essa diminuição pode ocorrer por meio do fechamento temporário dos estômatos, como uma adaptação modulativa. Uma alteração modificativa ocorre quando as folhas que crescem sob condições de deficiência hídrica apresenta os estômatos menores, mas uma densidade estomática maior. Essa modificação oferece condições para uma redução mais rápida da transpiração por meio da regulação do fechamento estomático (LARCHER, 2006). Por meio da regulação da abertura estomática a planta é capaz de modular as taxas de transpiração de acordo com as possibilidades e necessidades do seu balanço hídrico, fato esse não investigado neste trabalho. O controle das trocas gasosas por meio do fechamento estomático é considerado um processo complexo, pois, as plantas enfrentam um dilema, entre a diminuição da assimilação de CO_2 pelo fechamento do estômato e a perda de água pela

abertura, ambos negativos para o desenvolvimento da planta, porém a tendência é favorecer a assimilação fotossintética (PIMENTEL, 1998; ANGELOCCI, 2002).

Figura 16 - Taxa de transpiração (E) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro nos meses de novembro, fevereiro e maio no período da tarde. Acaraú-CE, 2013.



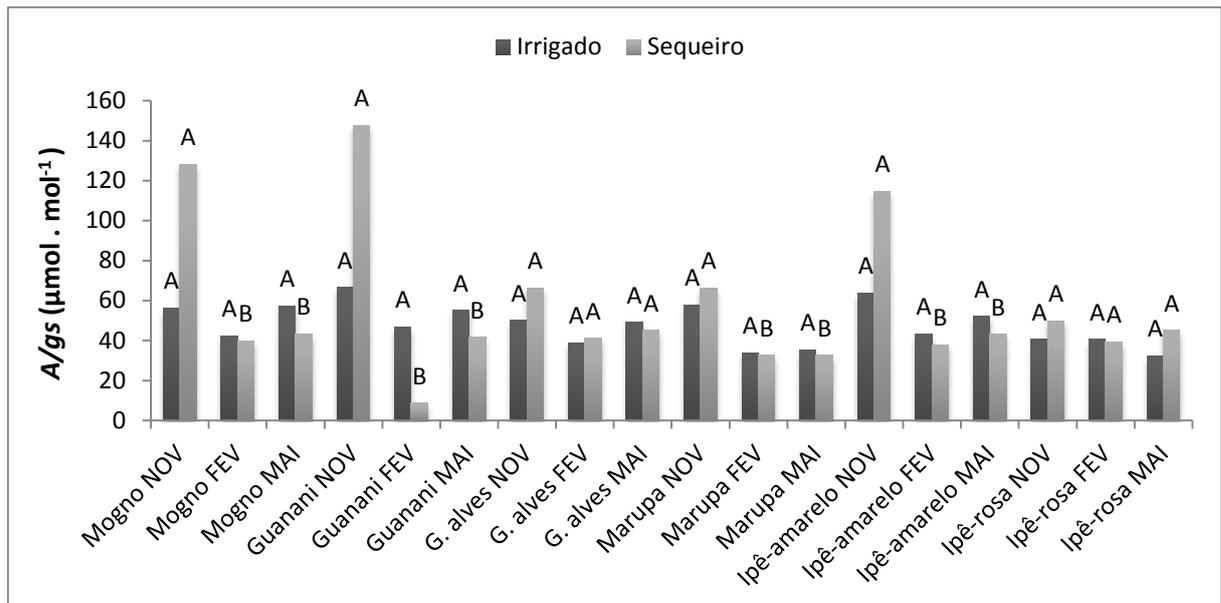
Médias seguidas da mesma letra não diferem dentre entre si a 5% de probabilidade, pelo teste tukey. Fonte: Elaboração do autor.

O gonçalo alves, marupá e ipê-rosa apresentaram menores taxas de E no mês de novembro, porém obtiveram um aumento no final da seca em fevereiro, de forma que não diferiram significativamente da época chuvosa, sugerindo que o fechamento estomático é menos efetivo e menos eficiente na conservação de água no final da seca nessas plantas em comparação com as outras espécies. Alguns autores constataram esse comportamento em outras espécies arbóreas, Delgado (2012) observou que a espécie *Peltophorum dubium* não alterou a perda de água por transpiração quando submetidos a diferentes manejos hídricos e Tatagiba *et al.* (2008) em trabalho com clones de eucalipto em ambientes com diferentes disponibilidade de água no solo, verificaram que não houve diferença significativa na transpiração.

Quanto à eficiência no uso da água observa-se na Figura 17 a variação da eficiência intrínseca (A/g_s) nas diferentes épocas no turno da manhã considerando a interação tripla entre os fatores. Verifica-se que nas plantas em condições irrigadas a A/g_s não foi alterada significativamente em função da época, pois a quantidade de água não foi limitante

nessas condições. Nas plantas em regime de sequeiro verificou-se que o gonçalo alves e o ipê-rosa não alteraram a A/g_s em função das épocas, enquanto que as demais espécies obtiveram maiores valores no mês mais seco (novembro).

Figura 17 - Eficiência intrínseca no uso da água (A/g_s) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro nos meses de novembro, fevereiro e maio no período da manhã. Acaraú-CE, 2013.

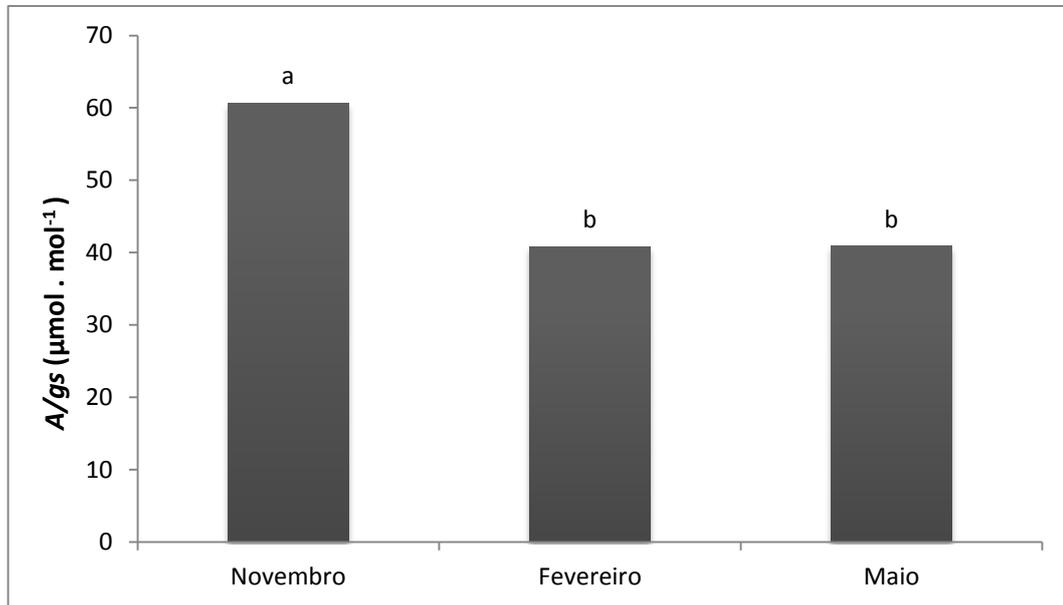


Médias seguidas da mesma letra não diferem dentre entre si a 5% de probabilidade, pelo teste tukey. Fonte: Elaboração do autor.

A maior eficiência do uso de água na época seca mostra que essas espécies melhoram a gestão da água dentro da planta em períodos de menor disponibilidade hídrica decorrente do maior fechamento estomático verificado nesse período (Figura 14), por outro lado diminuindo a assimilação de CO_2 nesse mesmo período (Figura 12). Segundo Taiz e Zeiger (2013) o estresse hídrico tende a reduzir primeiramente a g_s antes de reduzir a taxa fotossintética, assim, é possível que a planta assimile mais moléculas de CO_2 para cada unidade de água transpirada, sendo mais eficiente na utilização da água disponível.

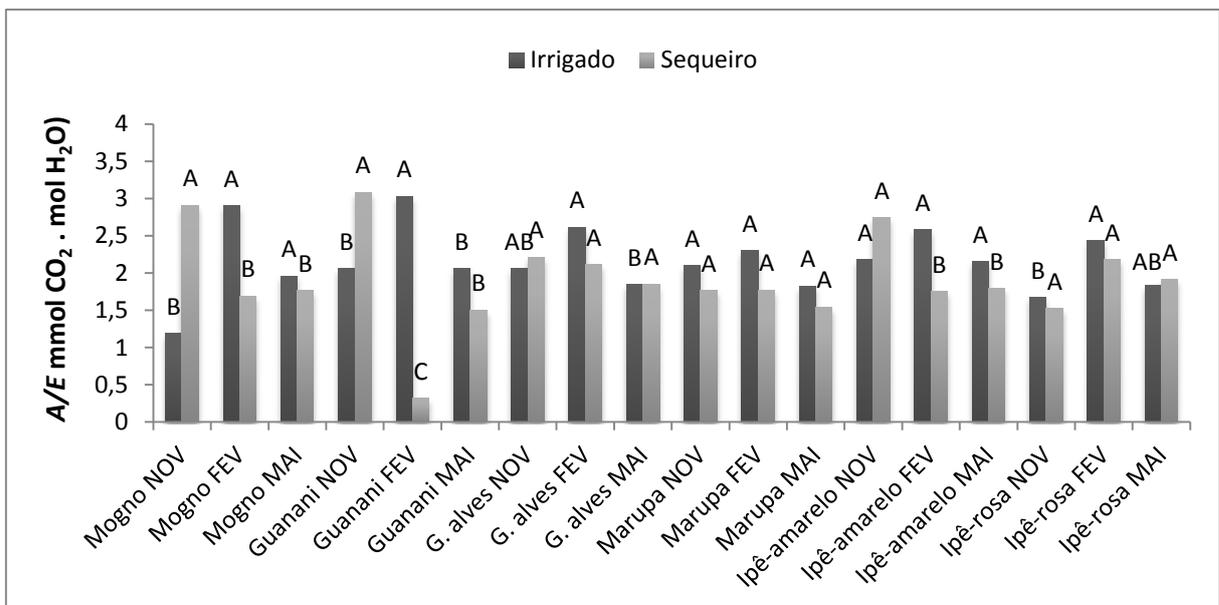
Analisando a eficiência intrínseca no uso da água (A/g_s) no turno da tarde observa-se na Figura 18 o efeito no fator época isoladamente. Verifica-se que as plantas aumentam A/g_s de acordo com a disponibilidade hídrica da época. O uso da água, levando em consideração a A/g_s , foi em média 48,45% maior no mês mais seco em relação ao mês mais chuvoso.

Figura 18 - Eficiência intrínseca no uso da água (A/g_s) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro nos meses de novembro, fevereiro e maio no período da tarde. Acaraú-CE, 2013



Médias seguidas da mesma letra não diferem dentre entre si a 5% de probabilidade, pelo teste tukey. Fonte: Elaboração do autor.

Figura 19- Eficiência momentânea no uso da água (A/E) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro nos meses de novembro, fevereiro e maio no período da manhã. Acaraú-CE, 2013



Médias seguidas da mesma letra não diferem dentre entre si a 5% de probabilidade, pelo teste tukey. Fonte: Elaboração do autor.

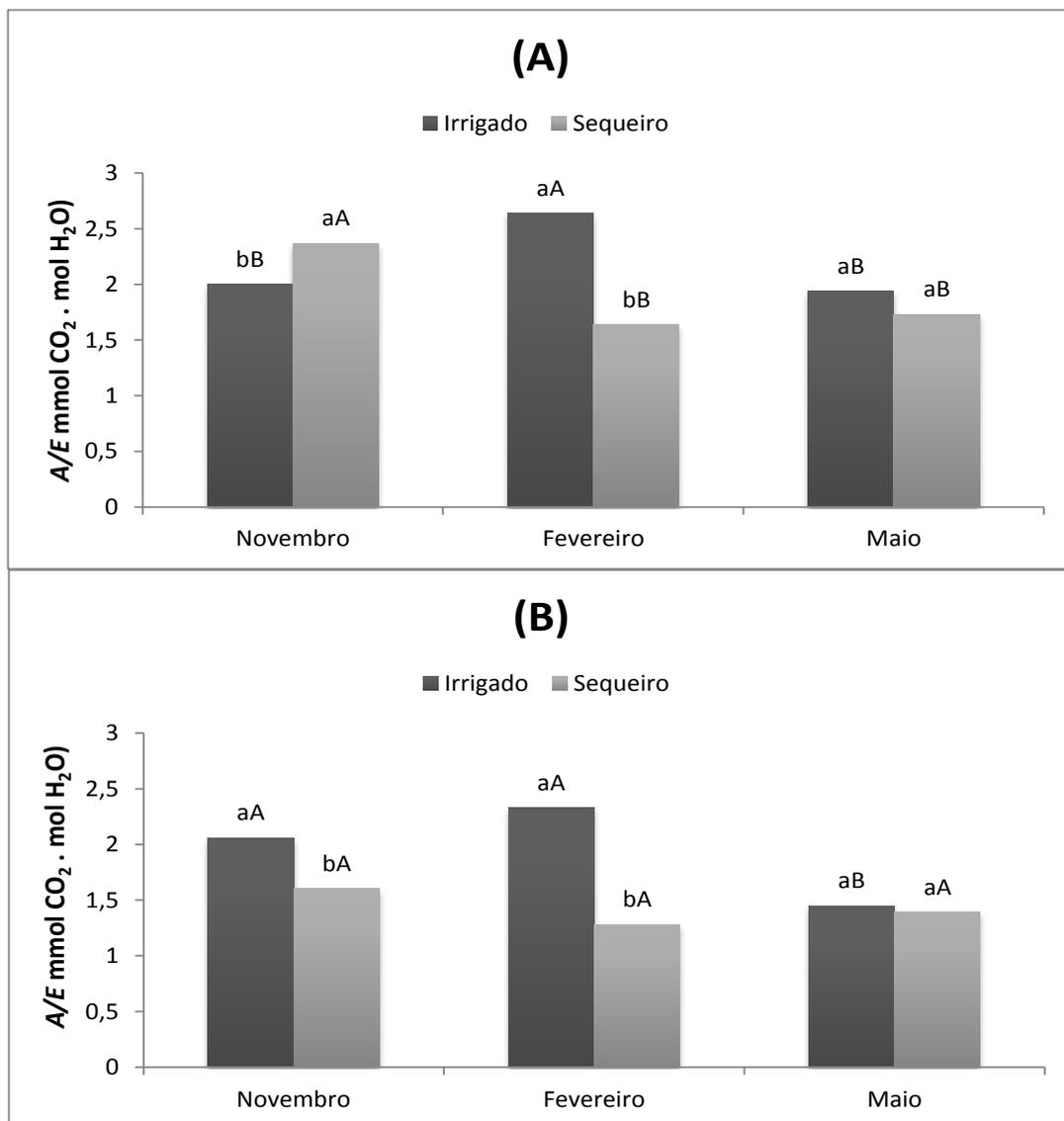
Em relação à eficiência momentânea no uso de água (A/E) no turno da manhã (Figura 19) verificou-se que as plantas submetidas a condições irrigadas apresentaram uma maior A/E no mês de fevereiro, resultado das baixas taxas de transpiração observadas nesse mês pela manhã (Figura 15), o que ajudou na conservação interna de água. Em relação às plantas de sequeiro o mogno, guanandi e ipê-amarelo obtiveram significativamente maiores médias de A/E no mês mais seco (novembro), enquanto que o gonçalo alves, marupá e ipê-rosa não alteraram significativamente a A/E , nesse caso a restrição de água não modificou significativamente a assimilação de CO_2 por unidade de água transpirada.

Na Figura 20 observa-se a eficiência momentânea no uso de água (A/E), levando em consideração a interação regime hídrico vs época. Analisando-se o mês mais seco quando a água no solo é mais contrastantes entre os dois períodos, verificou-se que no turno da manhã as plantas em condição de sequeiro têm uma maior A/E em relação às plantas irrigadas, porém no período da tarde sofre uma queda passando a ser menor. Nesse caso a queda da assimilação de CO_2 contribui mais efetivamente do que a redução da transpiração, diminuindo a relação A/E . No período chuvoso com a condição hídrica favorável aos dois regimes, a relação se iguala. Quanto à variação da A/E dos regimes nas épocas verifica-se que o curso diário modifica a A/E em plantas de sequeiro, de forma que pela manhã é maior na época mais seca, porém no turno da tarde não se verificou alterações significativas na relação A/E . A variação na taxa de assimilação de CO_2 (A) e taxa de transpiração (E) durante o dia exercem influência dependendo da condição de disponibilidade hídrica, de tal forma que na época seca a A é mais efetiva nessa flutuação, enquanto que na época chuvosa a E se demonstra mais influência nesse processo de variação de A/E .

Em relação às plantas submetidas a condições irrigadas em que não houve restrição de água no solo, os valores de (A/g_s) e (A/E) foram menores do que obtidos em outras espécies arbóreas tropicais (NINA JUNIOR, 2009; ATROCH, 2008; MARRENCO *et al.*, 2001), segundo Larcher (2006) esse parâmetro fisiológico varia entre e dentro das espécies vegetais, fato esse, verificado por Pinzón-Torres e Schiavinato (2008) em quatro espécies leguminosas arbóreas tropicais. No que se refere às plantas de sequeiro, o fato da (A/E) não ter aumentado com a deficiência hídrica no gonçalo alves, marupá e ipê-rosa indica que a redução da condutância estomática não funcionou de forma eficiente no sentido de diminuir as perdas de água via estômatos num primeiro momento nessas espécies. Porém levando-se em consideração as épocas essas plantas na época mais seca apresentaram maiores taxas de assimilação de CO_2 por unidade de água transpirada pela manhã, apresentando

comportamento conservativo de água em épocas de baixa disponibilidade de água no solo (Figura 20-A).

Figura 20 - Eficiência momentânea do uso de água (A/E) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função das épocas nos períodos da manhã (A) e tarde (B). Acaraú-CE, 2013.



Médias seguidas da mesma letra não diferem dentre entre si a 5% de probabilidade, pelo teste tukey. Letras minúsculas (entre tratamentos de regime hídrico) e maiúsculas (entre épocas dentro do mesmo regime hídrico) Fonte: Elaboração do autor.

A eficiência no uso da água sempre muda quando as condições para a difusão do CO_2 ou da H_2O são alteradas. Quando os estômatos estão totalmente abertos, a absorção de CO_2 é mais limitada pela resistência de transferência do que a perda d'água por transpiração. A melhor relação entre absorção de CO_2 e perda de H_2O é alcançada quando os estômatos

estão parcialmente fechados. Esta situação pode ser demonstrada no início da deficiência hídrica, quando os dois processos de difusão são prontamente reduzidos e (A/E) atinge os valores mais altos. Com os estômatos praticamente fechados, a razão (A/E) declina rapidamente, pois a entrada do CO_2 sofre mais restrições que a transpiração estomática e a perda d'água na forma de vapor contínua ocorrendo através da cutícula (LARCHER, 2006).

Avaliando a resposta de uma plantação de *Pinus pinaster* à seca, Jarosz *et al.* (2008) concluem que a eficiência do uso de água aumenta na época mais seca com o aumento do déficit de água no solo e decresce com o aumento do déficit de pressão de vapor. Essa resposta também foi observada em *Jatropha curcas* quando submetidas a menores níveis de déficit hídrico do solo (ROZA, 2010), em *Ricinus communis* sob estresse hídrico severo ($\Psi_w = -1,6$ a $-2,1$ MPa) (SAUSEN, 2007) e em *Stryphnodendron adstringens* em que se observou valores máximos de A/E quando os valores de potencial hídrico foliar se encontram bastante reduzido após 27 dias do início do déficit hídrico (ROCHA; MORAES, 1997).

4.2.2. Relação da concentração interna e externa de CO_2 (C_i/C_a) e temperatura da folha (T_{leaf})

Observa-se na Tabela 5 a análise de variância para as variáveis de relação interno/externo de CO_2 (C_i/C_a) e temperatura da folha (T_{leaf}) no turno da manhã. Verifica-se que apenas a interação espécie vs regime hídrico não influencia significativamente a relação C_i/C_a . Para a variável de temperatura da folha o fator isolado espécie e a interação espécie vs regime hídrico não apresentaram efeito significativo. No turno da tarde observa-se na Tabela 6 que todos os fatores e suas interações apresentaram efeito significativo sobre a relação C_i/C_a . Para a temperatura da folha os fatores isolados espécie e época, assim como, as interações espécie vs época e regime hídrico vs época mostraram-se significativos.

A Figura 21 representa o desdobramento da interação tripla dos fatores nos turnos da manhã (A) e tarde (B) para a relação C_i/C_a . Verificou-se que no período da manhã as plantas nas condições irrigadas não alteraram a C_i/C_a em função das épocas. Nas plantas submetidas a regime de sequeiro verificou-se que apenas o gonçalo alves e o ipê-rosa não modificaram de maneira significativa a C_i/C_a , as demais espécies nessas condições apresentaram valores mais baixos na época mais seca. Esse fato pode estar relacionado com a menor abertura estomática verificada na época seca, em resposta a deficiência hídrica, diminuindo a absorção de CO_2 .

Tabela 5 - Resumo da análise de variância para as variáveis: relação interno/externo de CO₂ (*Ci/Ca*) e temperatura da folha (*T_{leaf}*) no período da manhã em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro nos meses de novembro, fevereiro e maio. Acaraú-CE, 2013.

F.V	G.L	Q.M	
		<i>Ci/Ca</i>	<i>T_{leaf}</i>
Espécie (a)	5	0,022*	0,404 ^{n.s}
Resíduo - a	12	0,006	0,306
Regime Hídrico (b)	1	0,034*	29,984**
a x b	5	0,003 ^{n.s}	0,645 ^{n.s}
Resíduo - b	12	0,004	0,294
Época (c)	2	0,298**	169,107**
a x c	10	0,015**	1,426**
b x c	2	0,104**	2,499**
a x b x c	10	0,019**	0,955*
Resíduo - c	48	0,005	0,434
Total	107		
CV a (%)		10,96	1,64
CV b (%)		9,60	1,61
CV c (%)		10,52	1,96

G.L – graus de liberdade; (a) – espécie; (b) – regime hídrico; (c) – época; CV – coeficiente de variação; **, *, ^{n.s} – significativo pelo teste tukey a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

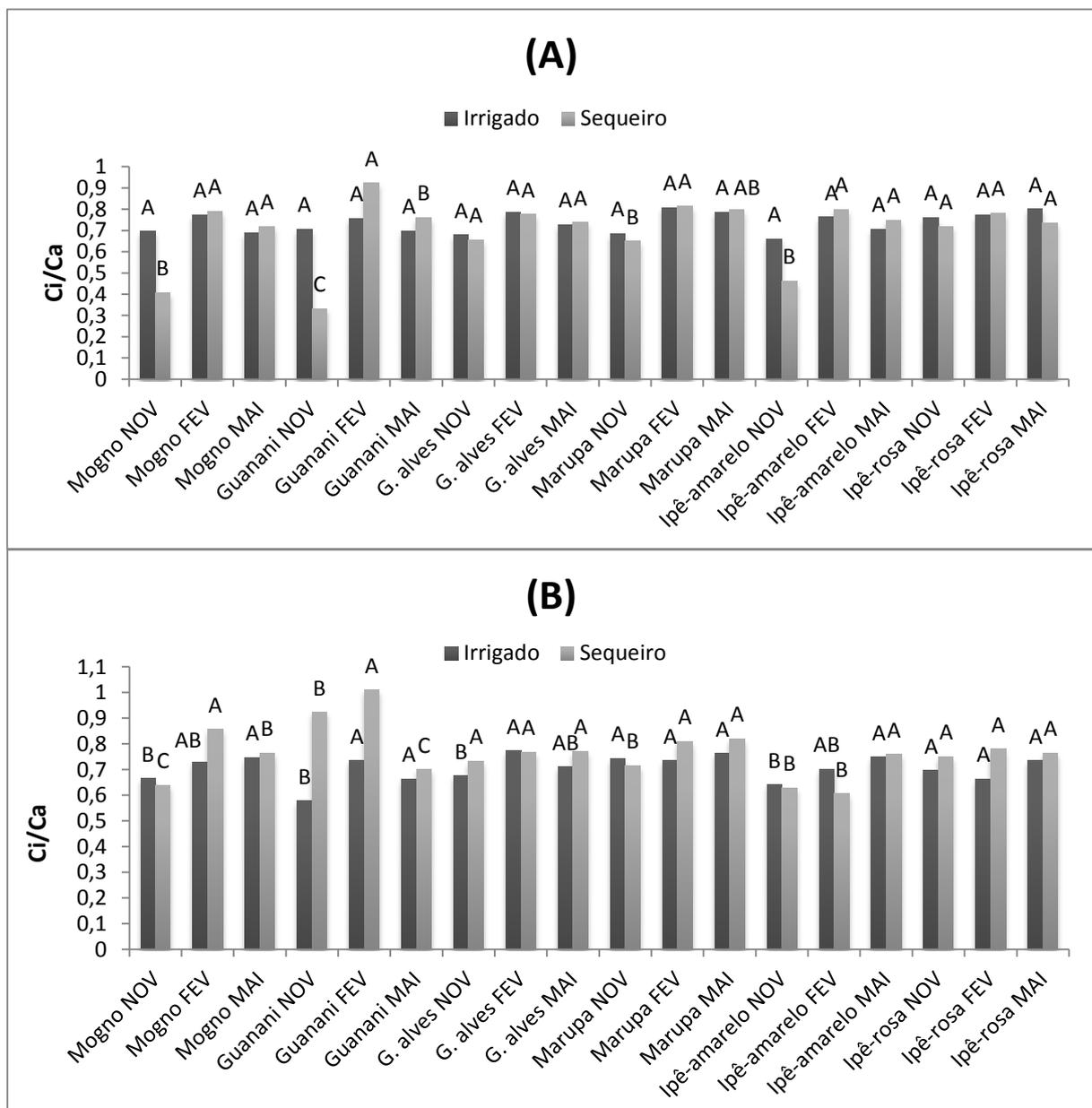
Tabela 6 - Resumo da análise de variância para as variáveis: relação interno/externo de CO₂ (*Ci/Ca*) e temperatura da folha (*T_{leaf}*) no período da tarde em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro nos meses de novembro, fevereiro e maio. Acaraú-CE, 2013.

F.V	G.L	Q.M	
		<i>Ci/Ca</i>	<i>T_{leaf}</i>
Espécie (a)	5	0,0180**	2,231**
Resíduo - a	12	0,0011	0,189
Regime hídrico (b)	1	0,0997**	0,777 ^{n.s}
a x b	5	0,0320**	0,487 ^{n.s}
Resíduo - b	12	0,0007	0,255
Época (c)	2	0,0407**	7,160**
a x c	10	0,0173**	0,763*
b x c	2	0,0049*	2,721**
a x b x c	10	0,0115**	0,596 ^{n.s}
Resíduo - c	48	0,0014	0,327
Total	107		
CV a (%)		4,55	1,23
CV b (%)		3,75	1,43
CV c (%)		5,23	1,62

G.L – graus de liberdade; (a) – espécie; (b) – regime hídrico; (c) – época; CV – coeficiente de variação; **, *, ^{n.s} – significativo pelo teste tukey a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

Esses resultados corroboram com Albuquerque *et al.* (2013) que observou uma redução de 37% na relação C_i/C_a em plantas de *Khaya ivorensis* quando submetidas ao estresse hídrico. Cordeiro (2012) também observou uma queda da relação C_i/C_a em plantas de *Swietenia macrophylla* e *Tabebuia serratifolia* no período de menor precipitação. Tomczac (2012) em trabalho com *Tabebuia impetiginosa* verificou uma redução na concentração interna de CO_2 quando submetidas ao estresse hídrico em dois diferentes tipos de solo.

Figura 21- Relação interna/externa de CO_2 (C_i/C_a) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro nos meses de novembro, fevereiro e maio no período da manhã (A) e tarde (B). Acaraú-CE, 2013



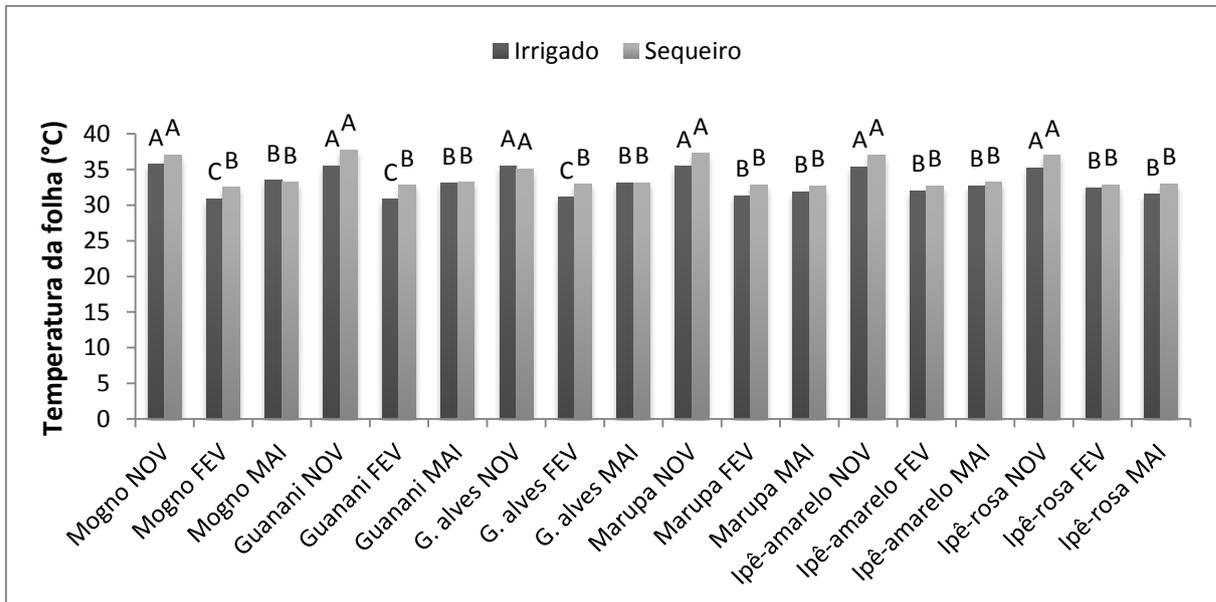
Médias seguidas da mesma letra não diferem dentre si a 5% de probabilidade, pelo teste tukey. Fonte: Elaboração do autor.

Segundo Larcher (2006) as plantas quando submetida ao estresse hídrico, diminuem a entrada de CO_2 , devido o fechamento estomático e como consequência uma redução na concentração interna, demonstrando uma interdependência entre assimilação de CO_2 e o consumo de água. No turno da tarde (Figura 21-B) verifica-se que a relação C_i/C_a nas duas condições de regime hídrico é influenciada pelas quedas na taxa de assimilação de CO_2 (A) e a condutância estomática (g_s), principalmente na época mais seca (novembro). Com exceção do marupá e ipê-rosa todas as espécies em condições irrigadas apresentaram menores valores de C_i/C_a no período mais seco. No regime de sequeiro o gonçalo alves e o ipê-rosa mantiveram a C_i/C_a a níveis significativamente iguais em relação as épocas, sofrendo pouca influência na variação de A e g_s entre os turnos do que as demais espécies. O mogno e o guanandi obtiveram maior C_i/C_a no mês de fevereiro, que pode ser explicado pelo aumento expressivo da condutância estomática seguida de uma forte queda da taxa de assimilação de CO_2 nessas espécies (Figura 13). O marupá e o ipê-amarelo obtiveram maiores médias de C_i/C_a na época mais chuvosa e menor na época mais seca, acompanhado a tendência do aumento da assimilação de CO_2 .

Segundo Larcher (2006) a pressão do CO_2 nos espaços intercelulares é definida pelo balanço entre o consumo (fotossíntese) e a reposição (influxo do meio externo, respiração, fotorrespiração) e frequentemente, os estômatos reagem a esse balanço, de forma a manter constante a pressão parcial interna para uma dada pressão externa, pois a resistência estomática altera-se em função da intensidade fotossintética, mantendo uma proporcionalidade entre os dois processos, e enquanto essa tendência de otimização é mantida, a relação C_i/C_a permanece constante. Porém a menor taxa de fotossíntese (A) observada no período seco pode ser atribuída tanto a limitações estomáticas, através da disponibilidade de CO_2 no mesófilo e sítios de carboxilação; como por limitações não estomáticas, determinadas possivelmente pela inativação parcial da rubisco bem como pela quantidade desta enzima (RIBEIRO; MACHADO, 2007).

Na Figura 22 observa-se a variação temperatura da folha nas diferentes épocas no turno da manhã. Verifica-se que a T_{leaf} pela manhã, tanto as plantas em condições irrigadas como as de sequeiro, apresentaram maiores temperaturas foliares significativamente na época mais seca (novembro). Nas plantas irrigadas foram observadas temperaturas foliares no mês de fevereiro (final da seca) menores que na época chuvosa (maio), nesse caso a irrigação aplicada a esse tratamento fez com que as plantas se diminuíssem a T_{leaf} mesmo em um período seco, fato não observado nas condições de sequeiro.

Figura 22 - Temperatura da folha (T_{leaf}) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro nos meses de novembro, fevereiro e maio no período da manhã. Acaraú-CE, 2013



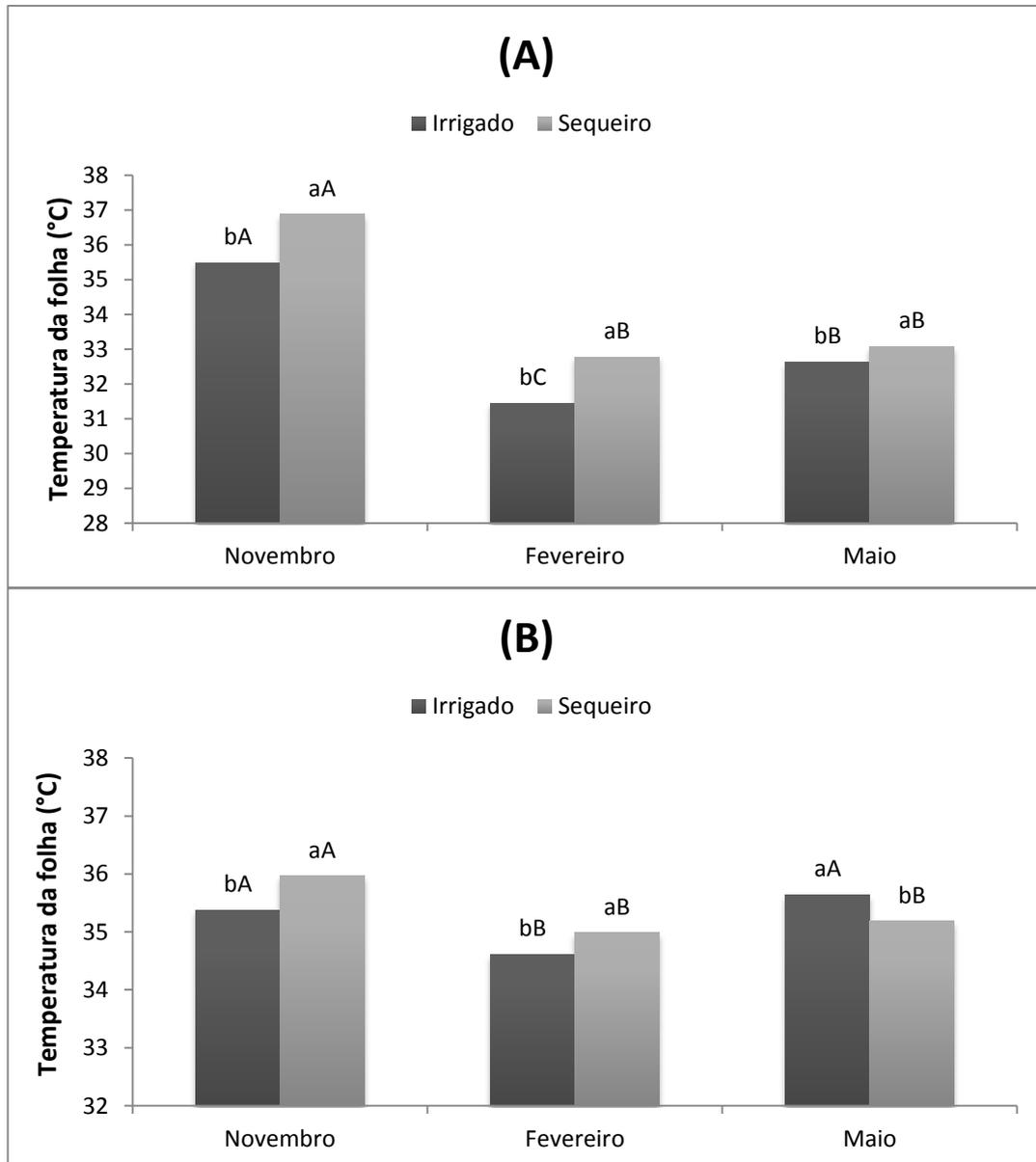
Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste tukey. Fonte: Elaboração do autor.

Analisando a interação dupla regime hídrico vs época nos dois turnos (Figura 23), observa-se que nas épocas referente ao período de estiagem as plantas irrigadas mantiveram a temperatura da folha menor que as de sequeiro, em ambos os turnos. Tais plantas em regime de sequeiro só apresentam uma regulação na temperatura da folha no período chuvoso.

Esses resultados demonstram que as plantas mais hidratadas promoveram um melhor controle da temperatura no tecido foliar, fato esse que também pode estar relacionado com as maiores taxas de transpiração. Além de fatores como o grau de hidratação promovido pela disponibilidade de água no solo e taxa de transpiração, fatores ambientais como temperatura do ar, déficit de pressão de vapor (DPV) e radiação solar podem ter influenciado nas diferenças encontradas no fator época, pois as características ambientais são bastante diferenciadas entre as épocas.

A Figura 24 ilustra a diferença entre temperatura da folha e do ar nas três épocas nos turnos da manhã e tarde. Observa-se que as plantas irrigadas tenderam a manter a temperatura da folha menor do que do ar independente da época e período do dia, entretanto as plantas de sequeiro apresentaram uma dinâmica diferente com temperaturas foliares maiores que a do ar na época da seca, só havendo uma regulação nessa temperatura com a disponibilidade de água no solo no final da seca e início da época chuvosa.

Figura 23 – Temperatura da folha (T_{leaf}) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função das épocas nos períodos da manhã (A) e tarde (B). Acaraú-CE, 2013.

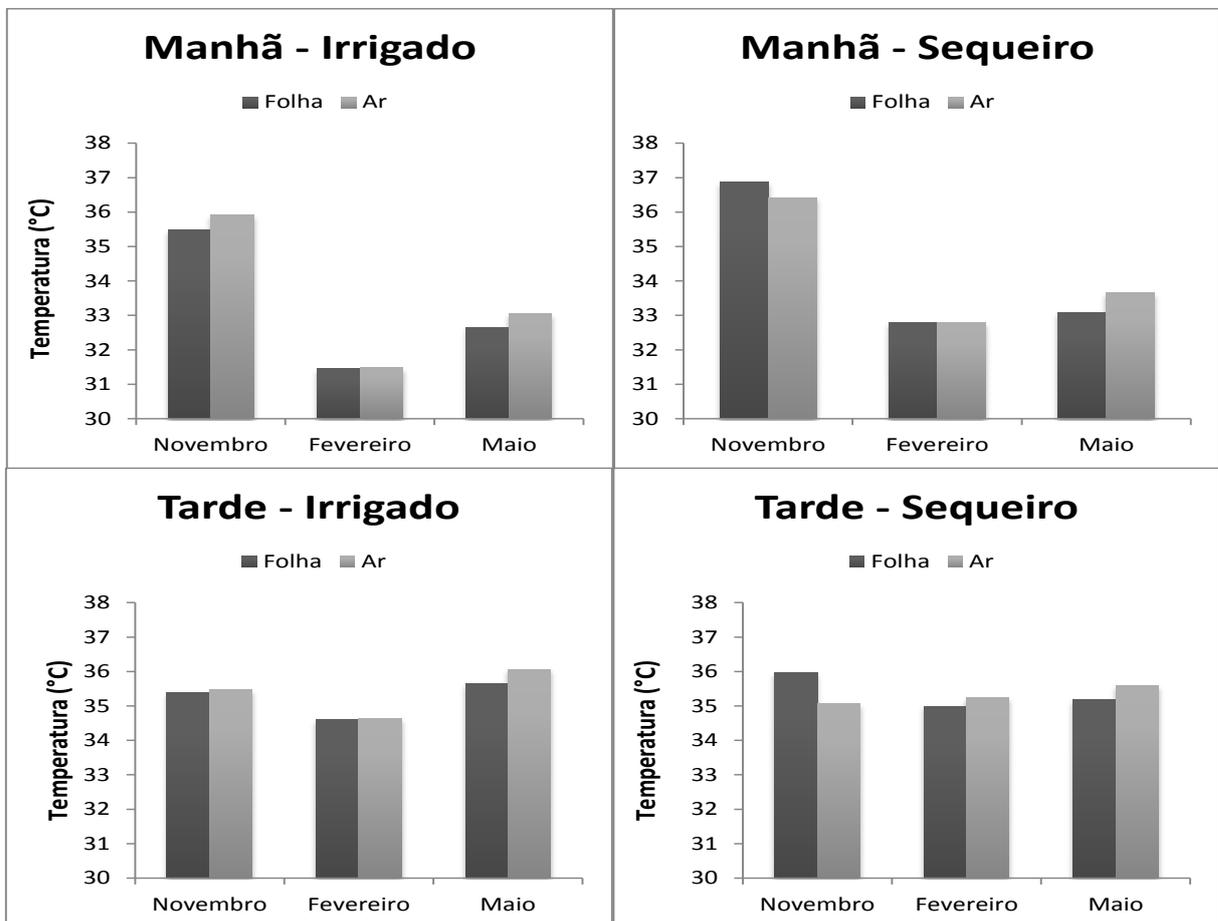


Médias seguidas da mesma letra não diferem dentre entre si a 5% de probabilidade, pelo teste tukey. Letras minúsculas (entre tratamentos de regime hídrico) e maiúsculas (entre épocas dentro do mesmo regime hídrico) Fonte: Elaboração do autor.

Ludlow e Muchow (1990) apud Fiuza (2010) consideram que a manutenção da temperatura da folha igual ou ligeiramente inferior à temperatura do ar comprova a capacidade de refrigeração das diversas espécies, via transpiração, no intuito de manter a planta protegida de faixas térmicas muito elevadas, sendo essa resposta desejável e positiva para a adaptação da planta ao estresse hídrico. Alguns autores apontam as possíveis causas do aumento da temperatura da folha em plantas estressadas, assim como, mostram a T_f como

fator modificador de alguns parâmetros fisiológico em plantas. Silva *et al.* (2004) em trabalho com dez espécies da Caatinga no início da estação seca observaram que a maioria das espécies a temperatura da folha permaneceu acima da do ar, e associou o aumento da temperatura da folha com o aumento da resistência difusiva em *Ziziphus joazeiro*, *Schinopsis brasiliensis* e *Bauhinia cheilantha* em consequência da diminuição do conteúdo de água disponível no solo. Machado *et al.* (2005) em estudo com variedades de *Citrus*, concluem que a temperatura foliar afeta a taxa de assimilação de CO₂ por efeitos causados na condutância estomática e na eficiência de carboxilação. Dias e Marengo (2007) verificaram uma redução na condutância (*g_s*) com o aumento da temperatura da folha em *Swietenia macrophylla*, porém não houve efeito desse fator na fotoinibição, que é a redução lenta e reversível da fotossíntese como resultado da exposição à luz solar plena. Cordeiro *et al.* (2009) em trabalho realizado com essa mesma espécie correlacionam a temperatura da folha negativamente com a condutância (*g_s*) e transpiração (*E*) em plantas sob estresse hídrico.

Figura 24 - Relação entre a temperatura da folha (T_{leaf}) e temperatura do ar em função das épocas em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro. Acaraú-CE, 2013.



Fonte: Elaboração do autor.

4.2.3. Eficiência fotossintética do uso no nitrogênio (A/N) e fósforo (A/P)

Na Tabela 7 encontra-se o resumo da análise de variância para as variáveis de eficiência fotossintética do uso no nitrogênio (A/N) e fósforo (A/P). Verificou-se que apenas a interação tripla entre os fatores não influenciou a A/N, enquanto que todos os fatores isolados bem como suas interações apresentaram significância para a variável de A/P.

Tabela 7 - Resumo da análise de variância para as variáveis eficiência fotossintética do uso no nitrogênio (A/N) e fósforo (A/P) no período da tarde em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro nos meses de novembro, fevereiro e maio. Acaraú-CE, 2013.

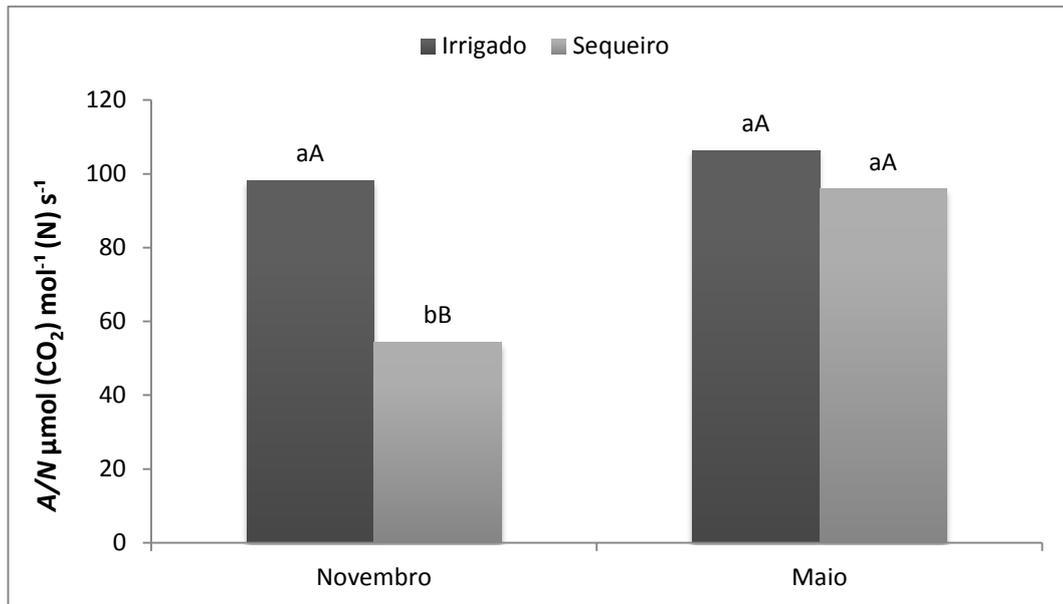
F.V	G.L	Q.M	
		A/N	A/P
Espécie (a)	5	3042,0**	5,0 x 10 ^{6**}
Resíduo - a	12	247,9	2,2 x 10 ⁵
Regime hídrico (b)	1	13257,9**	8,2 x 10 ^{5*}
a x b	5	1110,4*	1,8 x 10 ^{6**}
Resíduo - b	12	220,76	1,7 x 10 ⁵
Época (c)	1	11060,8**	9,7 x 10 ^{6**}
a x c	5	3227,6**	2,2 x 10 ^{6**}
b x c	1	5012,1**	3,1 x 10 ^{6**}
a x b x c	5	1172,7 ^{n.s}	1,2 x 10 ^{6*}
Resíduo - c	24	460,7	3,6 x 10 ⁵
Total	71		
CV a (%)		17,76	18,39
CV b (%)		16,75	15,92
CV c (%)		24,20	23,42

G.L – graus de liberdade; (a) – espécie; (b) – regime hídrico; (c) – época; CV – coeficiente de variação; **, *, ^{n.s} – significativo pelo teste tukey a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

Em relação à eficiência fotossintética do uso de Nitrogênio (A/N) observa-se na Figura 25, que a sazonalidade pluviométrica alterou a eficiência fotossintética de utilização do nitrogênio apenas nas plantas em regime de sequeiro apresentando uma maior A/N significativamente na época chuvosa (maio), com um aumento de 76,27% em relação ao período mais seco (novembro). Sob tais condições essas plantas reduzem a taxa de assimilação de CO₂ para cada unidade de nitrogênio mineral contido nas folhas, porém com o aumento da demanda hídrica essa eficiência é recuperada. Esses resultados mostram que nessas condições essas espécies são mais responsivas ao aumento da A/N com mudanças sazonais pelo aumento da assimilação de CO₂ na época chuvosa. Quanto às plantas nas condições irrigadas verificou-se que não apresentaram alteração significativa na A/N em

relação aos períodos, de modo que essa espécie faz melhor uso do nitrogênio para a atividade fotossintética por estarem em um ambiente com disponibilidade da água no solo.

Figura 25 – Eficiência fotossintética do uso de nitrogênio (A/N) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função das épocas. Acaraú-CE, 2013.

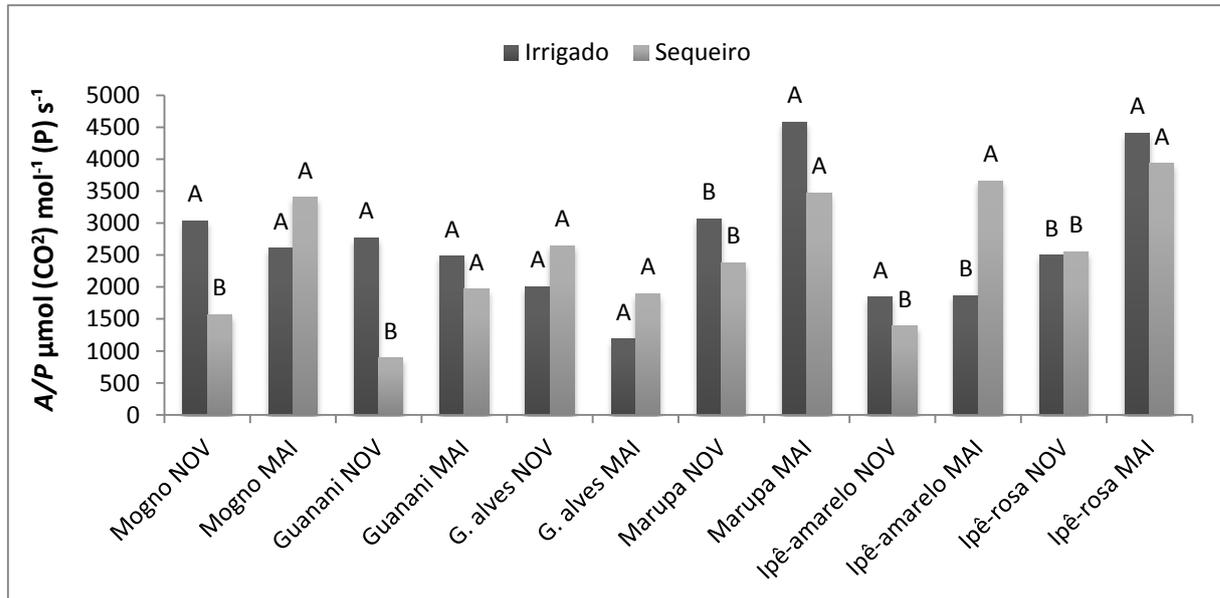


Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste tukey.
Fonte: Elaboração do autor.

Na Figura 26 observa-se que eficiência fotossintética do uso de fósforo A/P foi alterada de forma significativa pela sazonalidade pluviométrica no marupá e ipê-rosa em condições irrigadas. Para as condições de sequeiro verificou-se que com exceção do gonçalo alves, todas as espécies tiveram a A/P afetadas negativamente pelas condições do período seco (novembro) com reduções de 116,9% no mogno, 120,68% no guanandi, 45,54% no marupá, 163,13% no ipê-amarelo e 54,11% no ipê-rosa, o que demonstra que essas espécies têm a eficiência do uso de fósforo na fotossíntese negativamente afetada pelo estresse hídrico, contudo, apresentam uma grande capacidade de recuperação quando a disponibilidade hídrica do solo aumenta.

O efeito do estresse hídrico na eficiência fotossintética do uso de nitrogênio pode ser atribuído a efeitos na morfogênese da planta, isto é, no crescimento e estrutura, principalmente da folha, em decorrência dos danos causados a nível celular quando essas plantas são submetidas a condições de baixa disponibilidade hídrica. Um desses efeitos é a diminuição da área foliar específica. Para as plantas em condições de sequeiro, observou-se que a A/N foi mais alta quando a área foliar específica foi maior, ou seja, no período chuvoso.

Figura 26 - Eficiência fotossintética do uso de fósforo (A/P) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função das épocas. Acaraú-CE, 2013.



Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste tukey. Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 8 – Médias dos teores de nitrogênio, fósforo e eficiência fotossintética no uso de N e P em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função das épocas. Acaraú-CE, 2013.

Espécie	N (g.Kg ⁻¹)		A/N (μmol CO ₂ mol ⁻¹ N s ⁻¹)		P (g.Kg ⁻¹)		A/P (μmol CO ₂ mol ⁻¹ P s ⁻¹)	
	Nov	Mai	Nov	Mai	Nov	Mai	Nov	Mai
Mogno I	19,32	21,53	95,58	70,93	1,34	1,29	3038,69	1570,32
Mogno S	18,13	19,01	51,05	120,82	1,30	1,48	2610,68	3406,57
Guanandi I	13,19	13,65	82,27	82,49	0,86	1,00	2771,67	892,870
Guanandi S	15,76	13,60	25,85	56,72	1,00	0,86	2482,77	1970,40
G. Alves I	23,23	25,29	129,27	70,29	1,30	3,29	2007,08	2652,82
G. Alves S	24,21	33,28	77,33	77,00	1,56	2,97	1190,55	1898,57
Marupá I	20,19	15,45	89,41	121,39	1,29	0,90	3070,32	2385,38
Marupá S	17,67	17,20	60,39	82,96	0,98	0,90	4580,05	3471,81
Ipê-amarelo I	21,95	22,10	111,60	139,35	2,92	3,62	1845,60	1393,77
Ipê-amarelo S	20,66	32,92	43,75	104,24	1,43	2,06	1872,68	3667,48
Ipê-rosa I	20,35	17,25	81,04	153,33	1,45	1,32	2496,38	2554,79
Ipê-rosa S	17,31	24,78	67,82	133,31	1,01	1,85	4409,00	3937,30

I – Irrigado; S – Sequeiro; Nov – Novembro e Mai – Maio. Fonte: Elaboração do autor.

Esses resultados corroboram com Mendes e Marengo (2013) que encontraram essa relação para dez espécies arbóreas nativas da Amazônia Central e Poorter e Evans (1998) que afirmam que espécies com maior área foliar específica tem uma melhor eficiência no uso de nitrogênio. Os teores de nitrogênio e fósforo nas folhas tanto em unidade de massa como de área não estiveram associados a maiores A/N e A/P na maioria das espécies, mostrando que a quantidade de nitrogênio nas folhas não influencia no seu uso para fotossíntese nessas espécies (Tabela 8). Segundo Larcher (2006) plantas com alta eficiência fotossintética obtêm ganhos elevados de CO_2 mesmo se o conteúdo de nitrogênio nas folhas for moderado.

4.3. Índice SPAD

Verificou-se que o índice SPAD foi significativamente influenciado pelos fatores isolados espécie, regime hídrico e época, assim como pela interação espécie *vs* regime hídrico e espécies *vs* época (Tabela 9).

Tabela 9 - Resumo da análise de variância para o índice SPAD em seis espécies arbóreas em condições irrigadas e de sequeiro em função das épocas. Acaraú-CE, 2013.

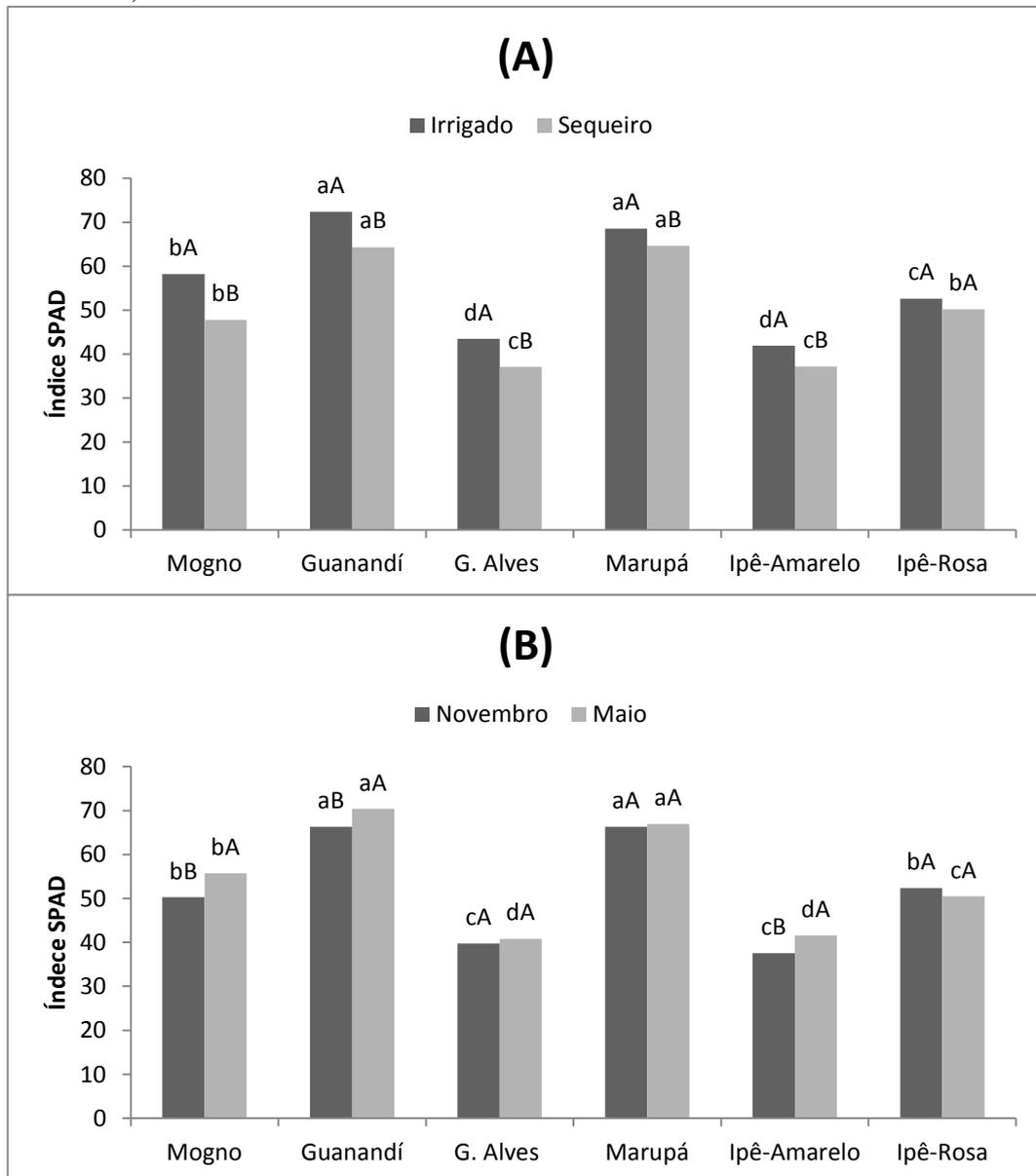
F.V	G.L	Q. M
		Índice SPAD
Espécie (a)	5	3060,20**
Resíduo - a	24	7,47
Regime Hídrico (b)	1	1074,00**
a x b	5	42,89*
Resíduo - b	24	12,82
Época (c)	1	148,74**
a x c	5	36,97*
b x c	1	39,44 ^{n.s}
a x b x c	5	26,32 ^{n.s}
Resíduo - c	48	13,29
Total	119	
CV a (%)		5,14
CV b (%)		6,73
CV c (%)		6,85

G.L – graus de liberdade; (a) – espécie; (b) – regime hídrico; (c) – época; CV – coeficiente de variação; **, *, n.s – significativo pelo teste tukey a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

Na Figura 27-A observa-se que apenas o ipê-rosa não apresentou diferença significativa quanto ao índice SPAD em relação à condição de regime hídrico, sendo que

todas as demais espécies apresentaram valores menores quando submetidas a condições de sequeiro.

Figura 27 - Índice SPAD em seis espécies arbóreas em função do regime hídrico (A) e época (B). Acaraú-CE, 2013.



Médias seguidas da mesma letra não diferem dentre entre si a 5% de probabilidade, pelo teste tukey. (A) maiúsculas (entre tratamentos de regime hídrico) e minúsculas (entre espécies dentro dos tratamentos); (B) maiúsculas (entre tratamentos de períodos) e minúsculas (entre espécies dentro de tratamentos de períodos). Fonte: Elaboração do autor.

Os resultados demonstram que o ipê-rosa é capaz de manter os teores de clorofila na folha mesmo em condições de sequeiro com reduzida disponibilidade hídrica. Entretanto nas outras espécies a redução da disponibilidade hídrica causou efeitos negativos nos teores

de clorofila. Segundo Rey *et al.*, (1999) o estresse hídrico, em alguns níveis, favorece a formação de espécies reativas de oxigênio, que danificam dentre outras estruturas celulares, os pigmentos fotossintéticos, o que pode explicar a redução dos teores de clorofila nessas condições.

Entre as espécies em condições irrigadas verificou-se que o guanandi (72,35) e o marupá (68,58) obtiveram maiores valores de SPAD, seguidas do mogno (58,21), ipê-rosa (52,62), gonçalo alves (43,46) e ipê-amarelo (41,92). Considerando o regime de sequeiro o marupá (64,64) e o guanandi (64,31) obtiveram maiores médias, seguidas por ipê-rosa (50,23), mogno (47,77), ipê-amarelo e gonçalo alves (37,10). Os resultados evidenciaram que levando em consideração a interação espécies vs regime hídrico, a disponibilidade hídrica influenciou negativamente o índice SPAD, ocasionado à diminuição do teor de clorofila na folha.

Na Figura 27-B observa-se o efeito da interação das espécies com épocas no índice SPAD. Verifica-se que o mogno, o guanandi e o ipê-amarelo apresentaram aumentos nos teores de clorofila na folha na época chuvosa (maio) de 10,77%, 6,12% e 10,67%, respectivamente, em relação ao período seco (novembro). O gonçalo alves, o marupá e o ipê-rosa não alteraram significativamente seus teores de clorofila na folha em função das épocas, de forma que não sofreram influência em relação as épocas de avaliação. Com relação às espécies no período seco verificou-se que o guanandi (66,33) e o marupá (66,33) obtiveram maiores médias de SPAD seguidas por ipê-rosa (52,33), mogno (50,28), Gonçalo Alves (39,75) e ipê-amarelo (37,55). Na época chuvosa o guanandi (70,36) e o marupá (66,92) apresentaram as maiores médias, seguidas do mogno (50,70), ipê-rosa (50,52), ipê-amarelo (41,56) e gonçalo alves (40,81).

A resposta observada para os teores relativos de clorofila na folha em plantas sob estresse hídrico, estimados por meio do índice SPAD, variam de acordo com a espécie estudada. Fernandes (2012) em trabalho realizado com quatro clones de eucaliptos, não verificou influência dos regimes hídricos (com e sem irrigação) nos valores de SPAD. Já Batista (2012) e Moura (2010) em plantas de *Jatropha curcas*, observaram reduções do índice SPAD em plantas submetidas à deficiência hídrica e atribuem essa redução ao menor conteúdo relativo de água nas folhas encontradas nas plantas sob deficiência hídrica. Mendes *et al.* (2013) observaram que plantas de *Cordia oncocalyx* em mata nativa da Caatinga, reduzem os valores de índice SPAD cinquenta dias após o início da seca. O estresse hídrico afeta a biossíntese da clorofila, por isso o seu conteúdo pode variar significativamente em plantas submetidas à deficiência hídrica (CARVALHO *et al.*, 2007), esses mesmos autores

constatarem a mudança nos teores de clorofila em plantas do cerrado em função da sazonalidade.

4.4. Fluorescência da clorofila (Eficiência quântica do fotossistema II)

Verificou-se que com exceção do fator isolado época, todos os outros fatores, bem como a interação desses, influenciou significativamente a variável de fluorescência da clorofila (F_v/F_m) (Tabela 10).

Tabela 10 - Resumo da análise de variância para a fluorescência da clorofila *a* em seis espécies arbóreas em condições irrigadas e de sequeiro em função das épocas. Acaraú-CE, 2013.

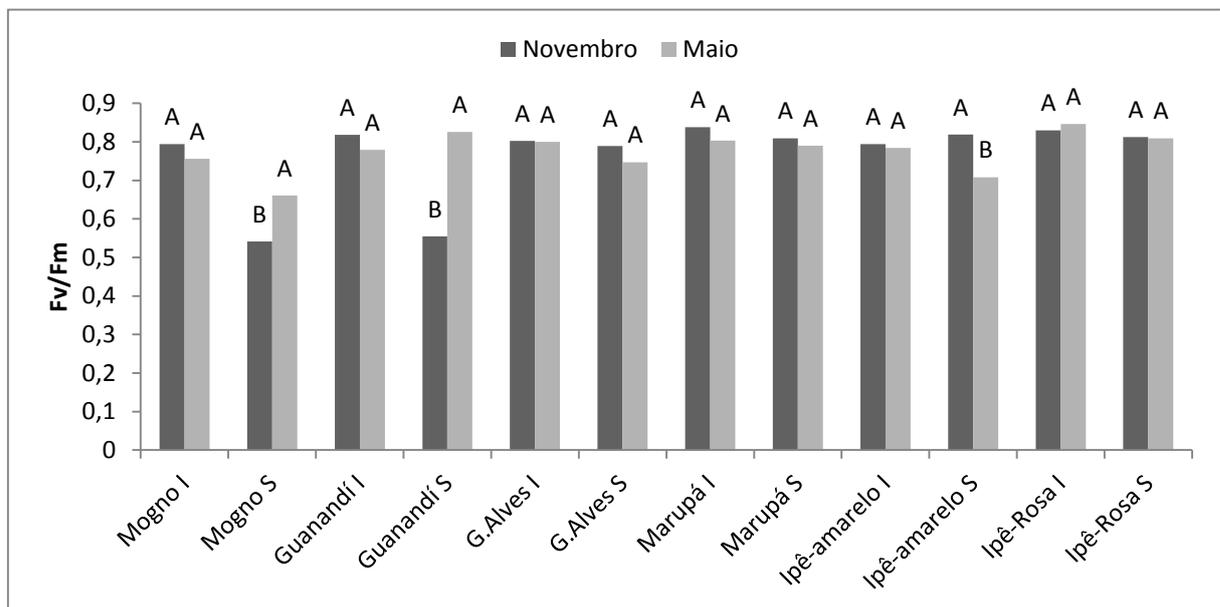
F.V	G.L	Q.M F_v/F_m
Espécie (a)	5	0,029**
Resíduo - a	12	0,005
Regime Hídrico (b)	1	0,075**
a x b	5	0,011*
Resíduo - b	12	0,003
Época (c)	1	0,001 ^{n.s}
a x c	5	0,011**
b x c	1	0,012*
a x b x c	5	0,017**
Resíduo - c	24	0,002
Total	71	
CV a (%)		9,40
CV b (%)		7,60
CV c (%)		6,73

G.L – graus de liberdade; (a) – espécie; (b) – regime hídrico; (c) – época; CV – coeficiente de variação; **, *, n.s – significativo pelo teste tukey a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

Na Figura 28 observa-se que em todas as espécies irrigadas a F_v/F_m não foi alterada significativamente em função das épocas de avaliação, esse fato deve-se em parte as condições de umidade do solo que não proporcionaram estresse hídrico a essas plantas durante a época seca. Nas plantas em condições de sequeiro verificou-se que o gonçalo Alves, o marupá e o ipê-rosa não alteraram de modo significativo a F_v/F_m em função do período avaliado. O mogno e o guanandi tiveram uma aumento na F_v/F_m de 22,12% e 48,82%, respectivamente, no período chuvoso (maio) em relação ao período seco (novembro). O

marupá apresentou uma redução de 15,62% no período chuvoso em relação ao período seco. Os resultados demonstram que levando em consideração a Fv/Fm , apenas o mogno e o guanandi tiveram a eficiência fotoquímica do processo fotossintético afetadas negativamente pela condição de estresse hídrico proveniente da variação sazonal de precipitação, sendo essa eficiência afetada durante o período seco, que pode ter ocorrido por danos no aparato fotossintético dessas espécies em tal condição e caracterizado o efeito da fotoinibição. Segundo Maxwell e Johnson (2000) valores de Fv/Fm inferiores a 0,75 indicam que a planta está sob estresse e a redução da eficiência quântica do fotossistema II, nesse estudo valores inferiores foram encontrados somente no mogno (0,541) e guanandi (0,555) em condições de sequeiro no período seco. Para Taiz e Zeiger (2013) valores entre 0,75 e 0,85 indicam eficiência do aparato fotossintético das folhas na conversão de energia luminosa em nível de FSII. Neste experimento todas as plantas em condições irrigadas nas duas épocas de avaliação apresentaram valores dentro faixa, demonstrando eficiência quanto a esse parâmetro.

Figura 28 - Fluorescência da clorofila a em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função das épocas. Acaraú-CE, 2013.



Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste tukey. I – Irrigado; S – Sequeiro. Fonte: Elaboração do autor.

A Fv/Fm é considerado como sendo a máxima eficiência na qual a luz absorvida pelo FSII é usada para a redução da Q_A (quinona A) que é o acceptor primário do FSII relacionado com a utilização da energia luminosa para a redução do $NADP^+$, indispensável para a assimilação de carbono. Menores valores de Fv/Fm indicam uma redução na eficiência

de captura de energia de excitação pelos centros de reação abertos do FSII indicando a dissipação fotoquímica de energia (BAKER, 2008). Alterações na Fv/Fm em plantas submetidas a condições de estresse hídrico é relatada por vários autores. Trovão *et al.* (2007) avaliando espécies arbóreas na Caatinga nas épocas seca e chuvosa, verificaram que das onze espécies sete não alteram a Fv/Fm em relação aos períodos e as outras quatro apresentaram reduções mínimas e atribuem às características evolutivas dessas espécies. Esposti (2013) observou redução da Fv/Fm em *Handroanthus chrysotrichus* 15 dias após o início da restrição hídrica, já em *Cariniana estrellensis* esse parâmetro não foi alterado sob as mesmas condições. Lemos Filho (2000) em trabalho com três espécies do cerrado observou que a espécie *Annona crassifolia* não alterou a Fv/Fm nas épocas seca e chuvosa diferentemente da *Eugenia dysenterica* e *Campomanesia adamantium* que apresentaram maiores Fv/Fm na estação chuvosa. Gonçalves *et al.* (2009) observaram uma redução de 23% na Fv/Fm , após 14 dias de supressão de irrigação em plantas jovens de *Carapa guianensis* e atribuem esse fato da redução da atividade fotoquímica em decorrência da diminuição da g_s ocasionada pelo estresse hídrico e relatam que a fotoinibição ocorre em condições de seca mais severa. Neste trabalho essa situação foi observada apenas para o mogno e o guanandi sob estresse hídrico.

4.5. Área foliar específica e grau de suculência foliar

Verificou-se efeito significativo dos fatores isolados espécie e época e das interações dos fatores isolados para a variável de área foliar específica. Para essa variável o fator isolado regime hídrico não foi significativo. O grau de suculência foliar foi influenciado significativamente pela espécie, regime hídrico e época e suas interações, exceto na interação regime hídrico vs época (Tabela 11).

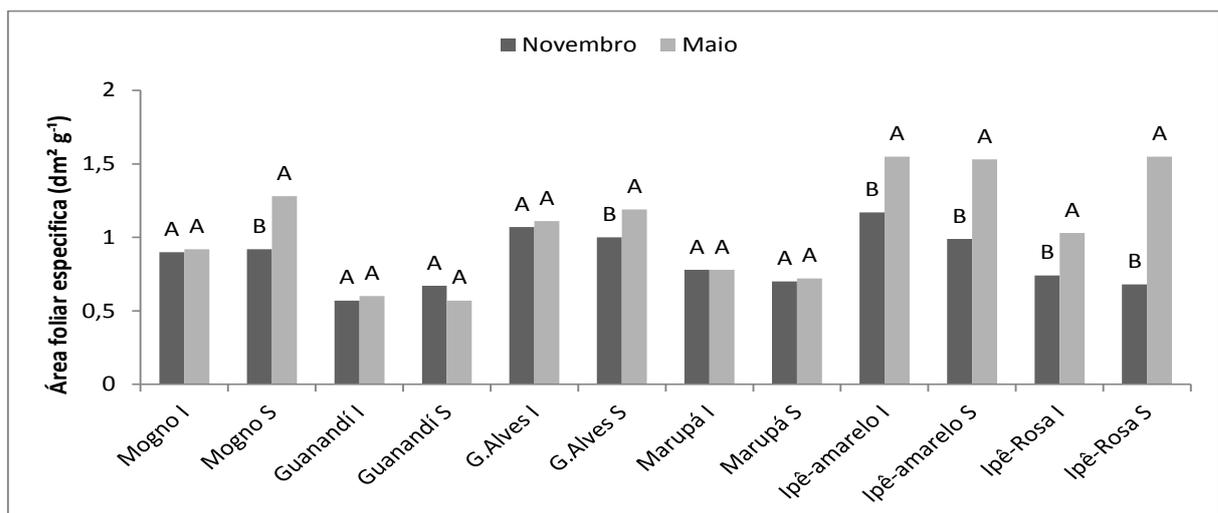
Na figura 29 verifica-se que área foliar específica (AFE) do mogno, guanandi, gonçalo alves e marupá praticamente não sofreu influência entre os períodos, quando em condições irrigadas, porém o ipê-amarelo e o ipê-rosa apresentaram um aumento significativo de 32,47% e 39,18% no período chuvoso (maio) nas mesmas condições. Nas plantas em condições de sequeiro o mogno, o gonçalo alves, o ipê-amarelo e o ipê-rosa obtiveram menor AFE no período seco (novembro) com médias de 0,92 dm² g⁻¹, 1,00 dm² g⁻¹, 0,99 dm² g⁻¹ e 0,68 dm² g⁻¹ respectivamente. O guanandi e o marupá não apresentaram diferença significativa na AFE em relação as dois períodos, com médias de 0,67 dm² g⁻¹ e 0,70 dm² g⁻¹ no período seco e (0,57 dm² g⁻¹) e (0,72 dm² g⁻¹) no período chuvoso, respectivamente.

Tabela 11 - Resumo da análise de variância para as variáveis de área foliar específica (AFE) e grau de suculência foliar (GS) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função das épocas. Acaraú-CE, 2013.

F.V	G.L	Q.M	
		AFE	GS
Espécie (a)	5	1,00**	5,248**
Resíduo - a	18	0,01	0,015
Regime Hídrico (b)	1	0,05 ^{n.s}	0,068**
a x b	5	0,06*	0,078**
Resíduo - b	18	0,02	0,007
Época (c)	1	1,17**	0,550**
a x c	5	0,24**	0,068**
b x c	1	0,20**	0,022 ^{n.s}
a x b x c	5	0,06**	0,070**
Resíduo - c	36	0,01	0,017
Total	95		
CV a (%)		11,70	7,00
CV b (%)		15,40	4,56
CV c (%)		12,08	7,32

G.L – graus de liberdade; (a) – espécie; (b) – regime hídrico; (c) – época; CV – coeficiente de variação; **, *, n.s – significativo pelo teste tukey a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

Figura 29 - Área foliar específica em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função das épocas. Acaraú-CE, 2013.



Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste tukey. I – Irrigado; S – Sequeiro. Fonte: Elaboração do autor.

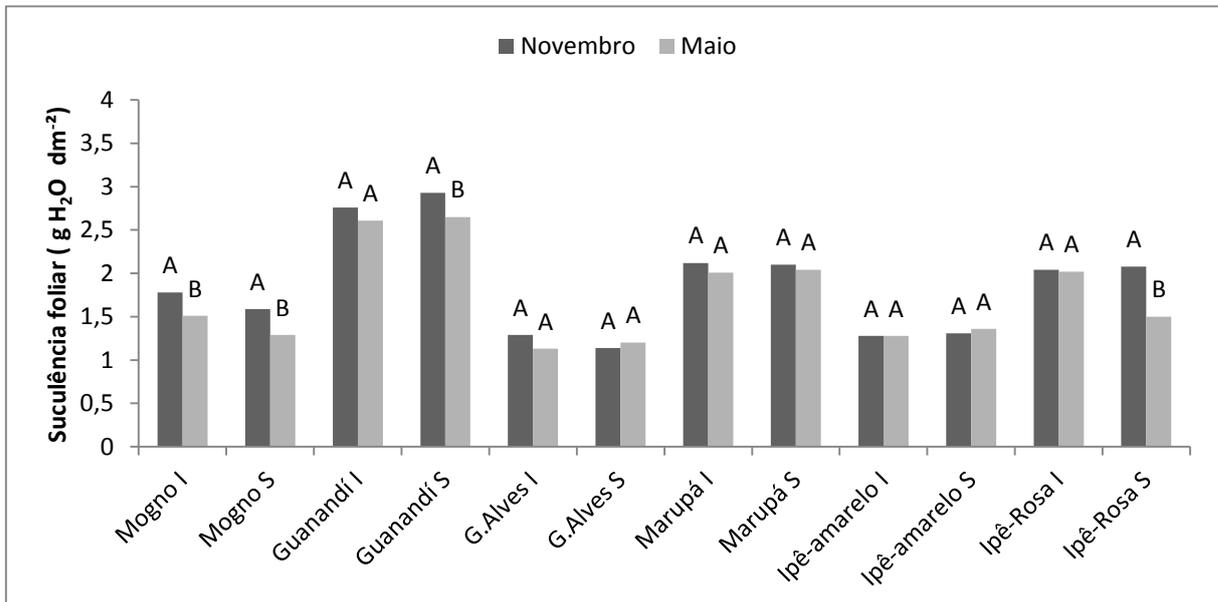
A menor AFE verificada em plantas submetidas ao estresse hídrico durante o período seco pode ser entendido como uma estratégia da planta para diminuir a superfície de transpiração por meio da redução da área por unidade de massa, como forma de economizar

água durante períodos de escassez. Segundo Larcher (2006) folhas que se desenvolvem sob condições de suprimento hídrico deficiente são geralmente menores e apresentam uma menor área foliar específica. Esses resultados são diferentes dos encontrados por Nascimento *et al.* (2011) que não encontraram diferenças significativas na AFE em mudas de *Hymenaea courbaril* L. quando submetidas a diferentes conteúdos de água no solo. Araújo e Haridasan (2007) não encontram diferenças significativas na AFE em dezesseis espécies do cerrado em função das épocas seca e chuvosa. Diante do contraste dos resultados conclui-se que a redução da AFE em plantas sob deficiência hídrica varia de acordo com a espécie em função do longo período evolutivo em uma determinada região.

Na figura 30 observa-se o grau de suculência foliar (GS) nas espécies nos diferentes regimes hídricos em função das épocas. Verifica-se nas plantas em condições irrigadas uma maior GS no período seco (novembro) com valores de 2,76 g H₂O dm⁻² no guanandi, 1,29 g H₂O dm⁻² no gonçalo Alves, 2,12 g H₂O dm⁻² no marupá, 1,28 g H₂O dm⁻² no ipê-amarelo e 2,05 g H₂O dm⁻² no ipê-rosa, porém apenas o mogno apresentou uma redução significativa na GS em função dos períodos, obtendo maior GS no período seco (1,78 g H₂O dm⁻²) em relação ao período chuvoso (novembro) (1,51 g H₂O dm⁻²). Nas plantas de sequeiro verificou-se que o mogno, o guanandi, o marupá e o ipê-rosa obtiveram maiores valores de GS no período seco com valores de 1,59 g H₂O dm⁻², 2,93 g H₂O dm⁻², 2,10 g H₂O dm⁻² e 2,08 g H₂O dm⁻² respectivamente, sendo essa diferença significativa apenas para o mogno, guanandi e ipê-rosa com reduções de 23,25%, 10,56% e 38,66% respectivamente. Para o gonçalo alves e ipê-amarelo foram observados aumentos, porém não significativos, no período chuvoso de 5,26% e 3,81% em relação ao período seco.

O fato das plantas submetidas ao estresse hídrico apresentarem maior GS nas épocas de menor disponibilidade hídrica, pode ser visto como uma estratégia de manter a hidratação na folha por meio da estocagem de água protegendo a planta de um murchamento repentino e de uma contração nas folhas. Neste trabalho essa estratégia não foi observada apenas no gonçalo alves e ipê-amarelo, fato que pode estar associado as características das folhas dessas espécies que são mais finas (maior AFE) em relação as outras espécies com valores médios de 1,09 dm² g⁻¹ e 1,31 dm² g⁻¹, o que diminui essa capacidade de estocar água nos períodos mais secos. Por outro lado plantas com folhas mais grossas (menor AFE) como guanandi, marupá e ipê-rosa obtiveram maiores valores de GS apresentado maior capacidade de estocagem de água nas folhas. Segundo Larcher (2006) uma forma especial de conservação de água é a utilização de carboidratos capazes de se hidratarem (mucilagem) em células, em dutos e em cavidade entre as células.

Figura 30 - Grau de suculência foliar (GS) em seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função das épocas. Acaraú-CE, 2013.



Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste tukey. I – Irrigado; S – Sequeiro. Fonte: Elaboração do autor.

4.6. Análise de crescimento

4.6.1. Altura da planta e diâmetro do caule

Observa-se na Tabela 12 que com exceção do fator isolado regime hídrico, todos os fatores isolados e as interações influenciaram significativamente a variável de altura da planta. Para a variável de diâmetro do caule, verificou-se que o fator isolado regime hídrico bem como a interação dupla regime hídrico vs tempo não apresentaram efeito significativo. Para os demais fatores isolados e interações o efeito foi significativo.

Na Figura 31 encontram-se os valores de altura das seis espécies nos dois regimes hídricos em função do tempo. Verifica-se que após os 12 meses, com a suspensão da irrigação no tratamento de sequeiro, verificou-se que o mogno, guanandi e gonçalo alves obtiveram menores valores de altura de planta nos meses subsequentes em decorrência do estresse hídrico. Ao final de 24 meses essa diferença foi de 36,41%, 44,16% e 47,63% maior em plantas irrigadas no mogno, guanandi e gonçalo alves, respectivamente. Nas plantas de marupá ipê-amarelo e ipê-rosa a altura das plantas no tratamento de estresse hídrico

mantiveram-se maiores em relação às plantas irrigadas, nesse caso o primeiro ano de irrigação foi suficiente para o estabelecimento dessas espécies apresentando alturas superiores ou iguais as condições irrigadas mesmo após a redução do suprimento hídrico. As alturas foram 20,81%, 27,62% maiores no tratamento de sequeiro ao final de 24 meses no marupá e ipê-amarelo, respectivamente. No ipê-rosa a redução foi mínima nas plantas irrigadas cerca de 4,63% no final do período de dois anos.

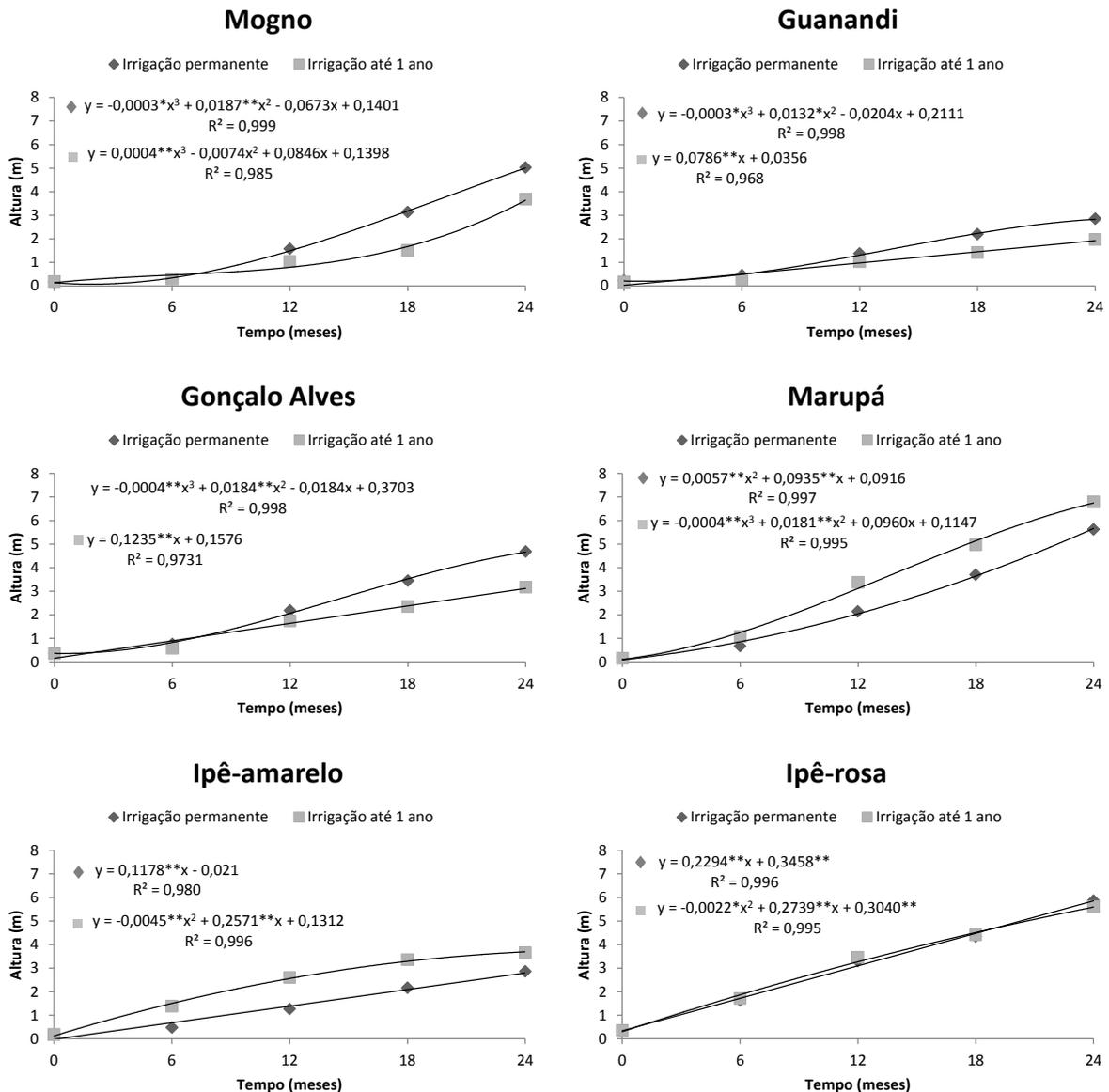
Tabela 12 - Resumo da análise de variância para as variáveis de altura da planta e diâmetro do caule para seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função do tempo. Acaraú-CE, 2013.

F.V	G.L	Q. M	
		ALTURA	DAP
Espécie (a)	5	107,19**	53,59**
Resíduo - a	18	0,36	0,99
Regime Hídrico (b)	1	0,01 ^{n.s}	0,19 ^{n.s}
a x b	5	4,94**	7,01**
Resíduo - b	18	0,17	0,42
Tempo (c)	4	132,45**	232,24**
a x c	20	3,01**	9,32**
b x c	4	0,67**	0,42 ^{n.s}
a x b x c	20	0,56**	1,22**
Resíduo - c	144	0,05	0,13
Total	239		
CV a (%)		28,77	41,36
CV b (%)		19,60	26,94
CV c (%)		11,58	15,32

G.L – graus de liberdade; (a) – espécie; (b) – regime hídrico; (c) – tempo; CV – coeficiente de variação; **, *, n.s – significativo pelo teste tukey a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

Na figura 32 encontram-se os valores diâmetro do caule das seis espécies nos dois regimes hídricos em função do tempo. Verifica-se que o mogno e o gonçalo alves e ipê-rosa após a suspensão da irrigação no tratamento de sequeiro, obtiveram menores valores de diâmetro do caule em relação as plantas irrigadas, com reduções de 54,09%, 36,52%, 17,83%, respectivamente, ao final de 24 meses. No ipê-rosa essa redução foi mais expressiva no último semestre do período. No guanandi, marupá e ipê-amarelo as plantas mantiveram os valores de diâmetro do caule superiores no tratamento de sequeiro o que demonstra que essas espécies já estavam bem estabelecidas em relação ao suprimento de água, essa resposta é menos evidente no guanandi onde as diferenças são mínimas. No final do período de dois anos os valores de diâmetro foram 27,71%, 28,13% e 30,88% maiores no regime de sequeiro no guanandi, ipê-amarelo e marupá, respectivamente.

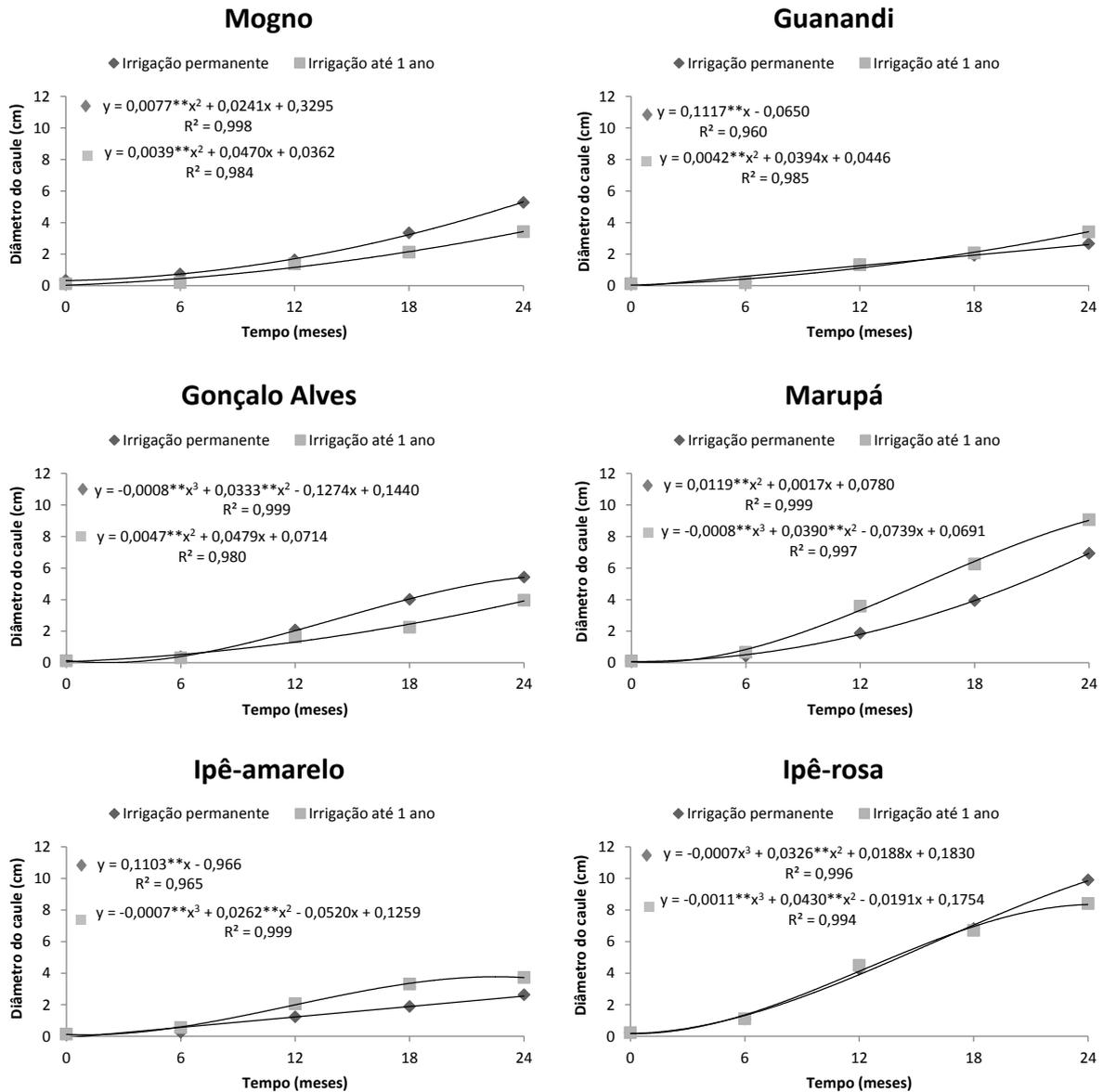
Figura 31 - Altura da planta em Mogno (*Swietenia macrophylla* King), Guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess.), Gonçalo Alves (*Astronium fraxinifolium*), Marupá (*Simarouba amara* Aubl.), Ipê-Amarelo (*Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nich.) e Ipê-Rosa (*Tabebuia impetiginosa*), submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função do tempo. Acaraú-CE, 2013.



Fonte: Elaboração do autor.

Os principais efeitos do estresse hídrico no crescimento de plantas estão associados à diminuição da turgescência e na limitação do metabolismo, principalmente na síntese de proteínas e aminoácidos. A redução da síntese no metabolismo de proteínas causa a interrupção da divisão celular reduzindo a velocidade do processo mitótico e assim a diminuição do processo de crescimento, particularmente crescimento em extensão (LARCHER, 2006).

Figura 32 – Diâmetro do caule em Mogno (*Swietenia macrophylla* King), Guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess.), Gonçalo Alves (*Astronium fraxinifolium*), Marupá (*Simarouba amara* Aubl.), Ipê-Amarelo (*Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nich.) e Ipê-Rosa (*Tabebuia impetiginosa*), submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função do tempo. Acaraú-CE, 2013.



Fonte: Elaboração do autor.

Neste trabalho as maiores reduções no crescimento em altura em virtude da deficiência hídrica foram verificadas no gonçalo alves, guanandi e o no mogno. Para o diâmetro do caule as maiores reduções foram observadas no alves e no mogno. Essas reduções podem está relacionadas às reduções na taxa de assimilação de CO₂ verificada nessas plantas quando submetidas ao estresse hídrico decorrente do fechamento estomático

em resposta ao *status* de água no solo (Figura 12, Figura 13 e Figura 14), essa redução na taxa de assimilação reflete diretamente na produção de fotoassimilados refletindo no crescimento da planta. Foi verificado que as espécies ipê-amarelo, ipê-rosa e marupá em condições de sequeiro, mantiveram um padrão de altura e diâmetro do caule igual ou superior as plantas irrigadas no período de 24 meses. A resistência dessas plantas as condições de baixa disponibilidade de água no solo pode está associada a diversas adaptações desenvolvidas por essas plantas para a tolerância a essas condições. No que se refere a mecanismos relacionados às trocas gasosas, mas especificamente o fechamento estomático, verificou-se que nos períodos mais secos as plantas diminuem a condutância estomática como forma de economia de água (Figura 14). Quanto à eficiência no uso da água observou-se que as plantas tiveram melhor A/E e A/g_s nos períodos mais secos (Figura 18 e Figura 20). Em relação de diminuição da área foliar específica como estratégia para a redução da área de transpiração apenas o ipê-amarelo e o ipê-rosa diminuem a AFE em períodos de menor precipitação pluviométricas (Figura 29).

É importante acrescentar que outras estratégias utilizadas pelas plantas para adaptação e sobrevivência a seca que não foram avaliadas nesse trabalho devem ser levados em consideração, como a alocação de massa seca na raiz por com o aumento da relação raiz/parte aérea, assim como o crescimento da zona radicular profunda e pelo fato do solo da área experimental favorecer esse crescimento, por ser profundo e de textura arenosa como discutido anteriormente, esse parâmetro deve ser dada importante relevância para os dados de crescimento obtidos.

4.6.2. Taxa de crescimento absoluto (TCA) e taxa de crescimento relativo (TCR)

Observa-se na Tabela 13 que todos os fatores isolados e as interações influenciaram significativamente as variáveis de taxa de crescimento absoluto em altura (TCA (H)), taxa de crescimento relativo em altura (TCR (H)) e diâmetro (TCR (D)). Para a variável de taxa de crescimento absoluto em diâmetro (TCA (D)), verificou-se que o fator isolado regime hídrico não apresentou efeito significativo. Para os demais fatores isolados e interações o efeito foi significativo.

Na Figura 33 encontram-se a taxa de crescimento absoluto em altura das seis espécies nos dois regimes hídricos em função do tempo. Verifica-se uma queda nas taxas de crescimento absoluto em altura TCA (H) nas plantas de sequeiro após a suspensão da

irrigação no 12º mês em todas as espécies. Porém com exceção do ipê-amarelo, a taxa de crescimento volta a aumentar após o 18º mês em decorrência do período chuvoso. Na maioria das espécies as taxas de crescimento melhor se ajustaram a um modelo cúbico resultante das oscilações de suprimento hídrico, o ipê-amarelo obteve comportamento linear decrescente em condições de sequeiro. Em condições irrigadas o mogno, guanandi, marupá e ipê-amarelo apresentaram taxa de crescimento absoluto em altura ajustadas a um modelo quadrático tendendo a decrescer no final do período de dois anos. O ipê-rosa e gonçalo alves apresentaram maior oscilação com a disponibilidade de água tendendo a decrescer no 18º mês seguida de um aumento no 24º mês.

Tabela 13 - Resumo da análise de variância para as variáveis de taxa de crescimento absoluto em altura e diâmetro e taxa de crescimento relativo em altura e diâmetro para seis espécies arbóreas submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função do tempo. Acaraú-CE, 2013.

F.V	G.L	Quadrados médios			
		TCA (H)	TCA (D)	TCR (H)	TCR (D)
Espécie (a)	5	0,1126**	0,3624**	0,0125**	0,0125**
Resíduo - a	18	0,0017	0,0063	0,0002	0,0003
Regime Hídrico (b)	1	0,0080**	0,0006 ^{n.s}	0,0006*	0,0039**
a x b	5	0,0167**	0,0369**	0,0009**	0,0014**
Resíduo - b	18	0,0008	0,0031	0,0001	0,0001
Época (c)	3	0,1447**	0,5603**	0,2061**	0,3720**
a x c	15	0,0282**	0,0335**	0,0235**	0,0151**
b x c	3	0,0215**	0,0276**	0,0084**	0,0078**
a x b x c	15	0,0067**	0,0171**	0,0068**	0,0080**
Resíduo - c	108	0,0024	0,0020	0,0014	0,0008
Total	191				
CV a (%)		24,44	36,52	12,39	12,32
CV b (%)		16,99	25,54	9,72	8,95
CV c (%)		29,16	20,78	31,13	20,73

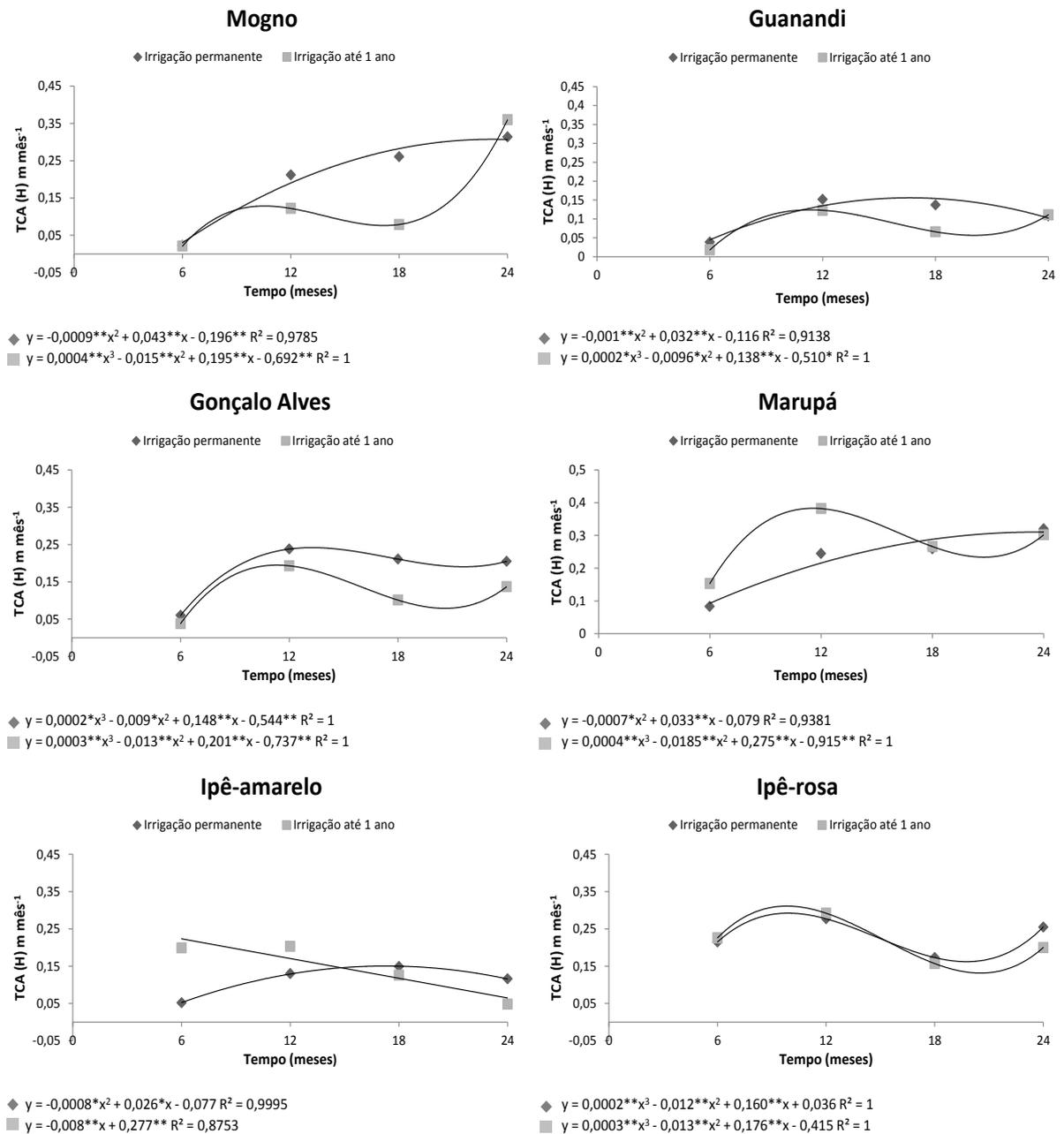
G.L – graus de liberdade; (a) – espécie; (b) – regime hídrico; (c) – tempo; CV – coeficiente de variação; **, *, n.s – significativo pelo teste tukey a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

Na Figura 34 observam-se as taxas de crescimento absoluto em diâmetro nas espécies. Verificou-se que em condições irrigadas o mogno e o marupá apresentaram crescimento linear, enquanto que o ipê-rosa, ipê-amarelo e guanandi sofreram flutuações nas taxas de crescimento apresentando comportamento cúbico. O gonçalo alves melhor se ajustou a um modelo quadrático com pico de crescimento no 18º mês.

Nas condições de sequeiro observou-se uma queda nas taxas de crescimento absoluto em diâmetro em todas as espécies. A queda da TCA (D) foi menos acentuada no

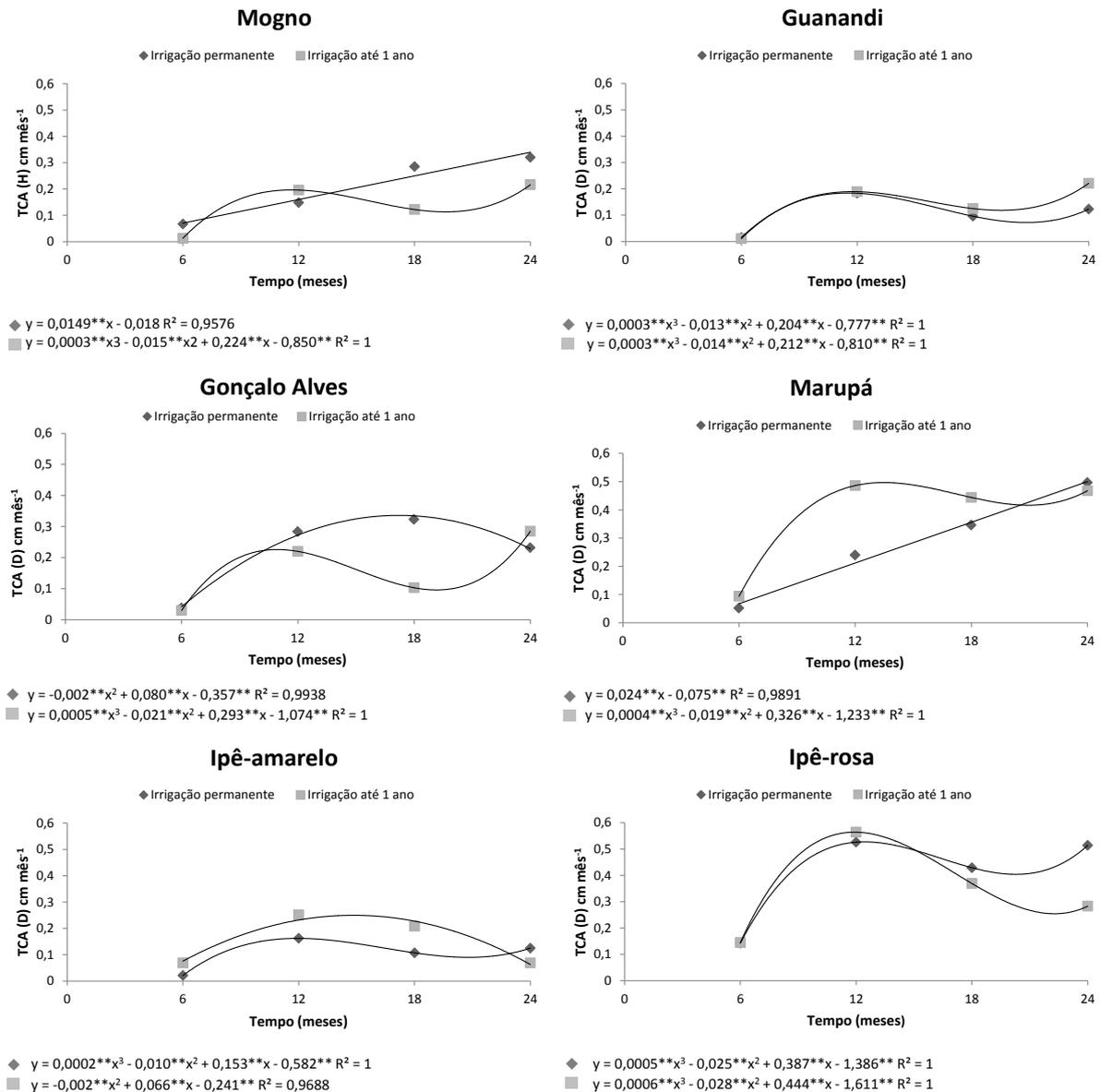
marupá. No ipê-amarelo e ipê-rosa as TCA (D) tenderam a decrescer com o tempo até o final do período de 24 meses logo após a suspensão da irrigação. No mogno, guanandi e gonçalo alves a TCA (D) decresceu após interrupção do suprimento hídrico, contudo apresentou um aumento a partir do 18º mês logo com início do período chuvoso.

Figura 33 – Taxa de crescimento absoluto em altura (TCA (H)) em Mogno (*Swietenia macrophylla* King), Guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess.), Gonçalo Alves (*Astronium fraxinifolium*), Marupá (*Simarouba amara* Aubl.), Ipê-Amarelo (*Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nich.) e Ipê-Rosa (*Tabebuia impetiginosa*) submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função do tempo. Acaraú-CE, 2013.



Fonte: Elaboração do autor.

Figura 34 - Taxa de crescimento absoluto em diâmetro (TCA (D)) em Mogno (*Swietenia macrophylla* King), Guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess.), Gonçalo Alves (*Astronium fraxinifolium*), Marupá (*Simarouba amara* Aubl.), Ipê-Amarelo (*Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nich.) e Ipê-Rosa (*Tabebuia impetiginosa*) submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função do tempo. Acaraú-CE, 2013.

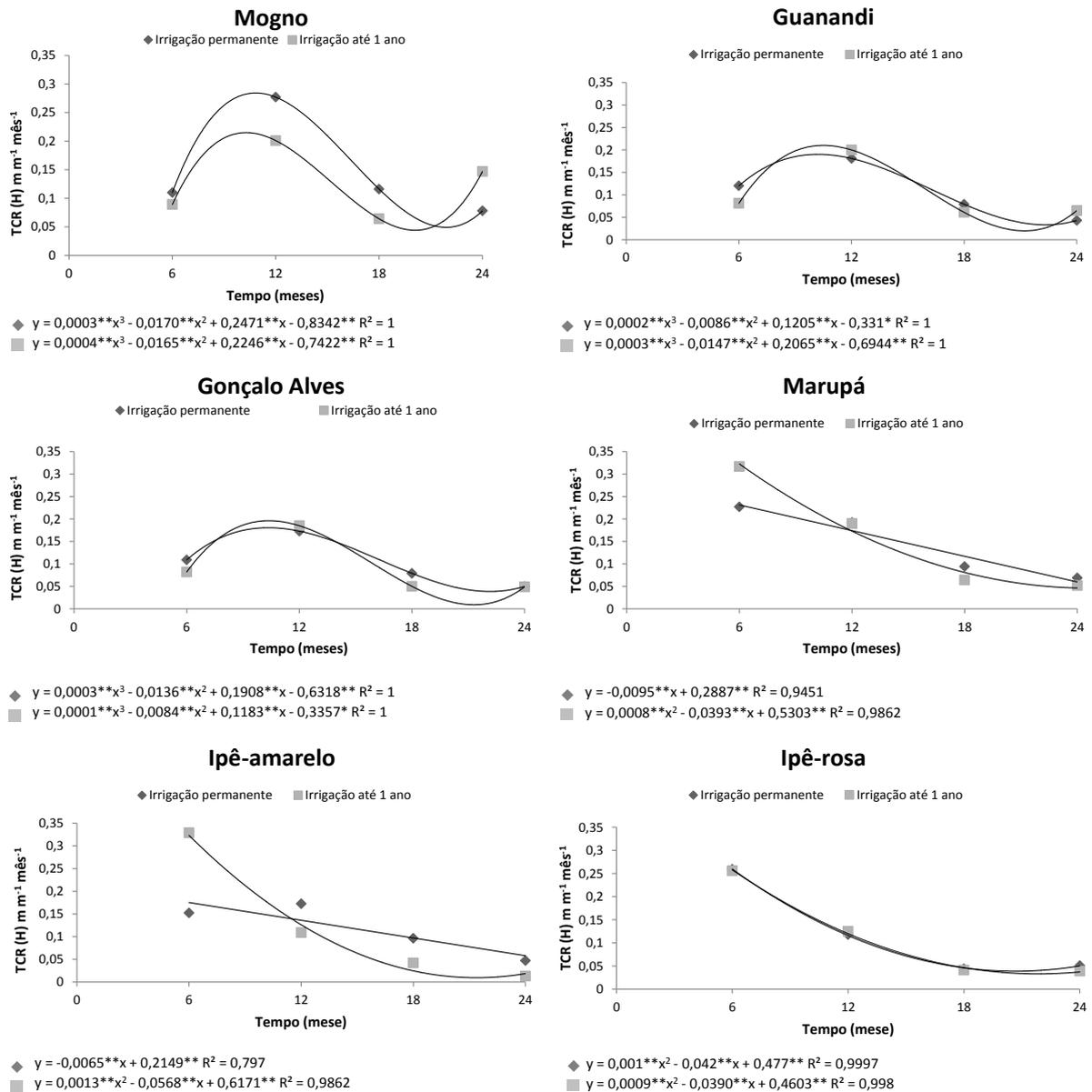


Fonte: Elaboração do autor.

Na Figura 35 observa-se a taxa de crescimento relativo em altura nas seis espécies. Verificou-se que no mogno, guanadi, gonçalo alves e ipê-rosa a TCR (H) variou de forma semelhante nas duas condições hídricas no tempo em relação as alternâncias de épocas e de suprimento hídrico, contudo as TCR (H) apresentaram-se superiores nas plantas irrigadas

permanentemente. O ipê-amarelo e marupá apresentaram diferenças nas tendências de TCR (H) com comportamento linear em plantas irrigadas e quadráticas em sequeiro, ambas decrescentes em função do tempo e com maiores valores nas condições irrigadas.

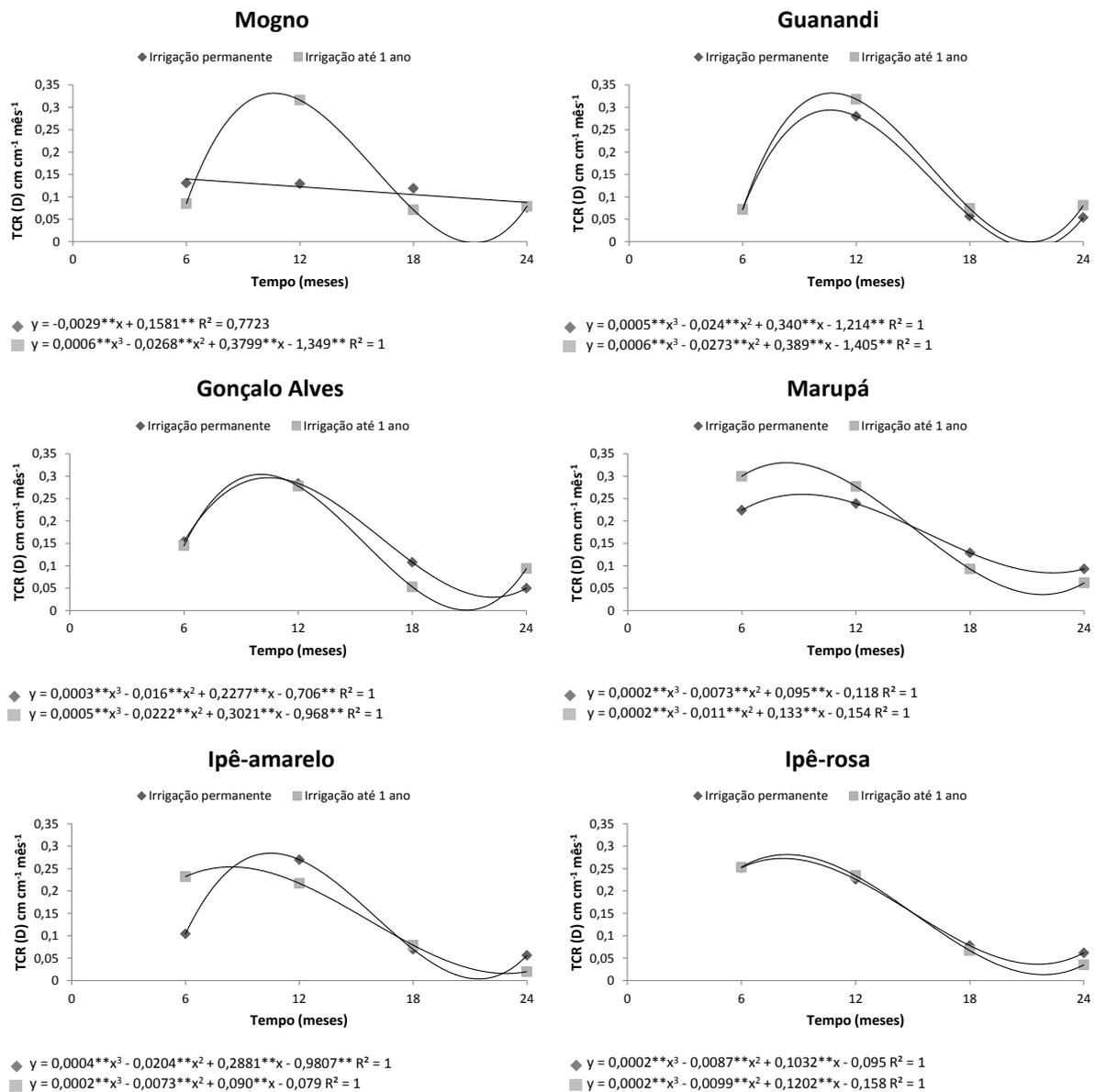
Figura 35 - Taxa de crescimento relativo em altura (TCR (H)) em Mogno (*Swietenia macrophylla* King), Guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess.), Gonçalo Alves (*Astronium fraxinifolium*), Marupá (*Simarouba amara* Aubl.), Ipê-Amarelo (*Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nich.) e Ipê-Rosa (*Tabebuia impetiginosa*) submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função do tempo. Acaraú-CE, 2013.



Fonte: Elaboração do autor.

Com relação à taxa de crescimento relativo em diâmetro nas espécies, verifica-se na Figura 36 uma tendência de queda bastante acentuadas nas TCR (D) em todas as espécies com exceção do mogno, em ambas as condições de regime hídrico. Porém pouco mais efetiva nas condições de sequeiro. Nas condições irrigadas o mogno apresentou uma mínima variação na TCR (D) com comportamento linear decrescente.

Figura 36 – Taxa de crescimento relativo em diâmetro (TCR (D)) em Mogno (*Swietenia macrophylla* King), Guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess.), Gonçalves Alves (*Astronium fraxinifolium*), Marupá (*Simarouba amara* Aubl.), Ipê-Amarelo (*Tabebuia serratifolia* Vahl.) e Ipê-Rosa (*Tabebuia impetiginosa*) submetidas a condições irrigadas e de sequeiro em função do tempo. Acaraú-CE, 2013.



Fonte: Elaboração do autor.

O primeiro ano de irrigação foi suficiente para o estabelecimento de algumas espécies, o que refletiu em uma menor queda no crescimento após a suspensão do suprimento hídrico, de tal forma que não foram expostas ao estresse no período inicial de desenvolvimento, ponto crítico para o crescimento das espécies. Nesse sentido a época de plantio é de extrema importância para o manejo de plantações em regime de sequeiro. A queda na TCA (H) seis meses após a suspensão do suprimento hídrico foi de 43,60% no marupá, 54,53% no mogno, 61,11% no ipê-amarelo, 85,98% no ipê-rosa, 86,36% no guanandi e 91,08% no gonçalo Alves. Para a variável de TCA (D) as quedas nas taxas para o mesmo período foram de 9,45% no marupá, 20,67% no ipê-amarelo, 51,20% no guanandi, 52,84% no ipê-rosa, 60,65% no mogno e 113,59% no gonçalo alves. Aos 12 meses após a cessação da irrigação, com exceção do ipê-amarelo, todas as espécies obtiveram aumentos na TCA (H) decorrentes da época chuvosa sendo mais expressivo no mogno com crescimento de 355,69%, para TCA (D) foram observados maiores aumentos no gonçalo alves com 176,69% e no mogno 77,04%. Fazendo a mesma análise seis meses depois do início da restrição hídrica para as taxas de crescimento relativo verificou-se que para a TCR (H) as quedas foram de 159,52% no ipê-amarelo, 196,87% no marupá, 204,87% no ipê-rosa, 214,06% no mogno, e 270% no gonçalo alves. Para a TCR (D) o declínio foi de 174,68% no ipê-amarelo, 197,84% no marupá, 249,25% no ipê-rosa, 329,72% no guanandi, 345,07% no mogno e 424,52% no gonçalo alves. Após 12 meses foi observado uma tendência no crescimento na TCR (H), porém somente expressiva no mogno com aumento de 129,68%, para o mesmo período o aumento para a TCR (D) foi mais expressivo no gonçalo alves com 77,35% e no mogno com 11,26%.

A variação sazonal na disponibilidade de água é um dos principais fatores que influenciam a produtividade vegetal nos trópicos. As variações nas características fisiológicas são bem marcantes nas diferentes épocas e tendem a refletir nas taxas de crescimento vegetativo nas plantas e conseqüentemente na produção de madeira. Constatou-se que na condição hídrica de sequeiro às taxas de crescimento acompanha a variações de precipitação durante o período de dois anos nas seis espécies, porém mais acentuadas em algumas espécies. A disponibilidade de água no solo pode ser considerado fator limitante, porém a variabilidade de outros fatores climáticos nas épocas são bem consideráveis, com o déficit de pressão vapor mais proeminente nas estações secas interferindo nas relações hídricas solo-planta-atmosfera e influenciando mecanismos que regulam o crescimento. As variações das taxas de crescimento estão também relacionadas às diferentes fases fenológicas que ocorrem

de diferentes maneiras e velocidades conforme a espécie. As quedas nas taxas de crescimento absoluto e relativo estão intimamente ligadas às oscilações observadas nas taxas de assimilação de CO₂ ocasionadas principalmente pela disponibilidade de água no solo. Essas respostas à condição de déficit hídrico em função das épocas podem ser evidenciadas pelo fechamento estomático. Segundo Larcher (2006) os principais efeitos da diminuição da condutância estomática são a redução na produção de fotoassimilados seguido de um aumento na atividade de enzimas oxidantes refletido diretamente na redução do crescimento vegetal. Estudando a dinâmica do crescimento de plantas arbóreas a longo prazo, Locoselli *et al* (2012) por meio da cronologia da largura de anéis das árvores, observaram que nas espécies *Hymenaea courbaril* e *Hymenaea stigonocarpa* as variações climáticas, principalmente a precipitação, influenciou no crescimento da planta nos diferentes estratos florestais. Em trabalho semelhante com *Mimosa acantholoba* em uma floresta tropical do México, Brien *et al* (2010) verificaram estreita relação do aumento do crescimento com as épocas de estação chuvosa e acrescenta que em anos de baixa pluviosidade o crescimento foi reduzido em 37%. Anholetto Junior (2013) analisando o crescimento de *Cedrela odorata* verificou que a sazonalidade climática influenciou diretamente no crescimento do tronco das árvores tanto na Caatinga como na Mata atlântica no estado do Sergipe. Brien e Zuidema (2005) em estudo com seis espécies em uma floresta tropical da Bolívia também encontraram uma relação positiva entre o crescimento das árvores com períodos de chuva. Ferreira (2002) em estudo com 13 espécies florestais verificou que a precipitação e temperatura estão correlacionadas diretamente com o crescimento de circunferência das árvores. Lima *et al* (2010) em trabalhos com *Tynanthus cognatus* Miers também verificou a influência das chuvas no crescimento dessa espécie. O conhecimento das flutuações do crescimento nas diferentes espécies é de suma importância para o planejamento de estratégias de manejo de espécies florestais, principalmente em regiões onde os eventos de precipitação são de difícil prognóstico como as regiões semiáridas ou subsumidas secas como é o caso da região do perímetro irrigado do Baixo Acaraú.

5. CONCLUSÕES

1. O déficit hídrico ocasionado pela sazonalidade das chuvas induz reduções na taxa de fotossíntese nas seis espécies estudadas submetidas a condições de sequeiro.
2. A condutância estomática é reduzida nas épocas mais secas nas plantas submetidas a condições de sequeiro.
3. A transpiração é reduzida nas épocas mais secas nas plantas submetidas a condições de sequeiro.
4. As plantas em condição de restrição hídrica aumentam a eficiência intrínseca e momentânea do uso de água no período mais seco.
5. Nas épocas secas as plantas irrigadas controlam melhor a temperatura da folha mantendo-as mais baixas do que a do ar.
6. A relação interna/externa de CO₂ foi afetada negativamente no mogno, guanandi e ipê-amarelo na época mais seca.
7. A eficiência fotossintética do uso do nitrogênio é reduzida pelo déficit hídrico.
8. A Eficiência fotossintética do uso de fósforo é afetada negativamente pela restrição hídrica na época da seca nas plantas em condição de sequeiro.
9. A baixa disponibilidade de água no solo reduz a eficiência quântica do fotossistema II no mogno e o guanandi.
8. O índice SPAD é reduzido pelo déficit hídrico em regime de sequeiro no mogno, guanandi, gonçalo alves, ipê-amarelo e marupá. Quando considerado épocas o mogno, guanandi e ipê-amarelo apresentam reduções no período seco.
9. O estresse hídrico ocasionado pela sazonalidade das chuvas diminui da área foliar específica do mogno, gonçalo alves, marupá, ipê-amarelo e ipê-rosa em condições de sequeiro. O grau de suculência foliar aumenta na época seca no mogno, guanandi, marupá e ipê-rosa em regime de sequeiro.

10. As espécies ipê-amarelo, ipê-rosa e marupá irrigadas até 1 ano, mantiveram um padrão de altura e diâmetro do caule superior às plantas irrigadas permanentemente no período de 24 meses.
11. O estresse hídrico ocasiona quedas nas taxas de crescimento absoluto e relativo em altura e diâmetro nas seis espécies estudadas.
12. As taxas de crescimento acompanham a variação sazonal da precipitação em plantas de sequeiro.

6. REFERÊNCIAS

ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico da ABRAF 2012 ano base 2011**. Brasília, 2012, 150 p.

ALBUQUERQUE, M. P. F.; MORAES, F. K. C.; SANTOS, R. I. N.; CASTRO, G. L. S.; RAMOS, E. M. L. S.; PINHEIRO, H. A. Ecofisiologia de Plantas Jovens de Mogno-Africano Submetidas a Déficit Hídrico e Reidratação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 1, p. 9-16, 2013.

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

ALMEIDA, L. P.; ALVARENGA A. A.; CASTRO A. M.; ZANELA, S. M.; VIEIRA, C. V. Crescimento Inicial de Plantas de *Cryptocaria aschersoniana* Mez. Submetidas a níveis de Radiação Solar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 83-88, 2004.

ANDREASSIAN, V. Waters and forests: from historical controversy to scientific debate. **Journal of Hydrology**, v. 291, p. 1-27, 2004.

ANGELOCCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: introdução ao tratamento biofísico**. Piracicaba: Edição do autor. 2002. 272 p.

ANHOLETTO JUNIOR, Claudio Roberto. **Dendroecologia e composição isotópica (¹³C) dos anéis de crescimento de árvores de *Cedrela odorata*, Meliaceae, na Caatinga e Mata Atlântica no Estado do Sergipe**. 2013. 90 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2013.

ARAÚJO, J. F.; HARIDASAN, M. Relação entre deciduidade e concentrações foliares de nutrientes em espécies lenhosas do cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, V.30, n.3, p.533-542, 2007.

ATROCH, E.M.A.C. (2008) **Efeitos de fatores abióticos sobre o crescimento, características fotossintéticas e síntese de óleos voláteis em plantas jovens de espécies de lauraceae na Amazônia Central**. Tese (Doutorado em Botânica), Manaus-AM, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas, 109 p.

BAKER, N. R. Chlorophyll fluorescence: A probe of photosynthesis *in vivo*. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 89 – 113, 2008.

BARROSO, G. M.; MORIM, M. P.; PEIXOTO, A. L.; ICHASO, C. L. F. **Frutos e sementes: morfologia aplicada à sistemática de dicotiledôneas**. Viçosa - MG: Editora UFV, 1999. 444p.

BARUCH, Z. Responses to drought and flooding in tropical forage grasses. 2. Leaf water potential, photosynthesis rate and alcohol dehydrogenase activity. **Plant and Soil**, v. 164, n. 1, p. 97-105, 1994.

BASTOS, A. de M. **As madeiras do Pará**. Arquivos do Serviço Florestal, Rio de Janeiro, v. 2, n. 2, p. 157-182, 1946.

BATISTA, Lourdes Regina Lopes. **Características radiculares e fisiológicas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) propagado por semente e por estaca cultivados sob diferentes condições hídricas**. 2012. 47 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2012.

BENITEZ RAMOS, R. F.; MONTESINOS LAGOS, J. L. **Catálogo de ciem especies forestales de Honduras: distribución, propiedades y usos**. Siguatepeque: Escuela Nacional de Ciencias Forestales, 1988. 200p.

BLACKMAM, F. F. Optima and limiting factors. **Ann. Bot**, n.19, p 281-295, 1905.

BRASIL. Secretaria de Assuntos Estratégicos. **Diretrizes para a estruturação de uma política nacional de florestas plantadas**. Brasília, 2011. 104 p.

BRIENEN, R. J. W.; LEBRIJA-TREJOS; E.; ZUIDEMA, P. A.; MARTINEZ-RAMOS, M. Climate-growth analysis for a Mexican dry forest tree shows strong impact of sea surface temperatures and predicts future growth declines. **Global Change Biology**. v. 16, p. 2001-12. 2010.

BRIENEN, R. W.; ZUIDEMA, P. A. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. **Oecologia**, Berlin, v.146, p. 1-12. 2005.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. **Considerações sobre a produção de carvão vegetal com madeira da Amazônia**. Serie Técnica IPEF, Piracicaba, v.2, n. 5, p, 1-27, 1981.

BROWN, A. E. *et al.* A review of paired catchment studies for determining change in water yield resulting from alterations in vegetation. **Journal of Hydrology**, v. 310, p. 28-61, 2005.

BRUCE, W. B.; EDMEADES, G. O.; BARKER, T. C. Molecular and physiological approaches to maize improvement for drought tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v.53, n.66, p.13–25, 2002.

BRUIJNZEEL, L. A. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees?. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 104, p. 185-228, 2004.

CABRAL, E. L.; BARBOSA, D. C. de A.; SIMABUKURO, E. A. Crescimento de plantas jovens de *Tabebuia aurea* (Manso) Beth. & Hook. f. ex S. Moore submetidas a estresse hídrico. **Acta Botânica Brasileira**, v. 18, n. 2, p. 241-251, 2004.

CALDATO, S. L.; SCHUMACHER, M. V. Ouso da água pelas plantações florestais – uma revisão. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.23, n.3, p.507-516, 2013.

CAMPELLO, F. B.; GARIGLIO, M. A.; SILVA, J. A.; LEAL, A. M. A. **Diagnóstico Florestal da Região Nordeste**. Brasília: IBAMA, 1999. 20p.

CAMPOSTRINE, E. **Fluorescência da clorofila a: Considerações teóricas e aplicações práticas**. Universidade Estadual do Norte Fluminense. Apostila, 2001.

CARVALHO, A. P. F.; BUSTAMANTE, M. M. C.; KOZOVITS, G. P. Variações sazonais nas concentrações de pigmentos e nutrientes em folhas de espécies do cerrado com diferentes estratégias fenológicas. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 19-27, 2007.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003. v. 1, 1039 p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2006. v. 2, 627 p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2008. v. 3, 593 p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2010. v. 4, 644 p.

CAVALCANTE, M. S. **Deterioração biológica e preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1982. 40 p.

CEARÁ. Superintendência Estadual do Meio Ambiente. **Programa Estadual de Florestas – PEF**. Fortaleza, 2004. 29 p.

CERNUSAK, L. A. *et al.* Large variation in whole-plant water-use efficiency among tropical tree species. **New Phytologist**, Malden, v. 173, n. 2 p.294-305, 2007.

CHAVES, J. H. *et al.* Seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com disponibilidade diferenciada de água no solo: relações hídricas de plantas em tubetes. **Revista Árvore**, v.28, n.3, p.333-341, 2004.

CHAVES, M. M.; PEREIRA, J. S.; MAROCO, J.; RODRIGUES, M. L.; RICARDO, P.P.; SÓRIO, M. L.; CARVALHO, I.; FARIA, T.; PINHEIRO, C. How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. **Annals of Botany**, v.89, p.907-916, 2002.

CODOGNOTTO, L. M.; SANTOS, D. M. M.; LEITE, I. C.; MARIN, A.; MADALENO, L. L.; KOBORI, N. N.; BANZATTO, D. A. Efeito do alumínio nos teores de clorofilas de plântulas de feijão-mungo e labe-labe. **Ecosistema**, Espírito Santo do Pinhal, v. 27, n. 1, p. 27-30, 2002.

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

CORDEIRO, Y.E.M. **Potencial de uso em recuperação de áreas degradadas: Um estudo três espécies nativas da Amazônia Oriental sob dois regimes hídricos**. Dissertação. Universidade Federal do Pará, Belém, 2012. 89 p.

CORREIA, K. G.; FERNANDES, P. D.; GHEYI H. R.; NOBRE, R. G.; SANTOS, T. D. Crescimento, produção e características de fluorescência a da clorofila a em amendoim som condições de salinidade. **Revista Ciência Agônômica**, Fortaleza, v. 40, n. 4, p. 414-521, 2009.

CORREIA, K.G.; NOGUEIRA, R.J.M. C. Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetido a déficit hídrico. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Belo Horizonte, v.4, n.2, 2004.

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

DELGADO, Luiz Gustavo Martinelli. **Produção de mudas nativas sob diferentes manejos hídricos**. 2012. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS - DNOCS. Grupos de Coordenação Executiva das Operações Agrícolas (GOA). Situação em 30/04/1991. Fortaleza,

1991. DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS - DNOCS. Perímetro irrigado baixo-acaraú. Fortaleza 2012. Disponível em: http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/perimetros_irrigados/ce/baixo_acarau.html.

Acesso em 8 de abril de 2013.

DIAS, D. P.; MARENCO, R. A. Fotossíntese e fotoinibição em mogno e acariquara em função da luminosidade e temperatura foliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.**, Brasília, v.42, n.3, p.305-311, 2007.

DONAGEMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B. de; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. (Org.). **Manual de métodos de análise de solos.** 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

EMBRAPA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos.** Brasília: Embrapa Produção de Informação, Rio de Janeiro, 2013, 3ª ed. 353p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** 2ª edição revista e ampliada. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

ESPOSTI, Maria Stela de Oliveira Degli. **Estresse hídrico em duas espécies arbóreas de diferentes estágios sucessionais.** 2013. 46 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Estadual Do Norte Fluminense, Campos Dos Goytacazes – RJ, 2013.

FACCO, A. G.; RIBEIRO, A.; PRUSKI F. F.; MONTEIRO W. C.; LEITE, F. P.; ANDRADE. R. G.; MENEZES, S. J. M. C. Técnicas de geoinformação para estimativa de balanço hídrico em eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.9, p. 1243-1250, 2012.

FARIAS, C. H. A. *et al.* Eficiência no uso da água na cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação e níveis de zinco no litoral paraibano. **Engenharia. Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 494-506, 2008.

FERNANDES, Emanuel Tássio. **Fotossíntese e crescimento inicial de clones de Eucalipto sob diferentes regimes hídricos**. 2012. 113 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista - BA, 2012.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, v.6, p.36-41, 2008.

FERREIRA, L.; CHALUB, D.; MUXFELDT, R. **Ipê-amarelo: *Tabebuia serratifolia* (Vahl) Nichols**. Informativo Técnico Rede de Sementes da Amazônia, Manaus, v. 5, 2004.

FERREIRA, Lígia. **Periodicidade do crescimento e formação da madeira de algumas espécies arbóreas de florestas estacionais semidecíduas da região sudeste do Estado de São Paulo**. 2002. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2002.

FIUZA, Danila da Silva. **Identificação de características agrônômicas e fisiológicas relacionadas com a tolerância à seca em mandioca**. 2010. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias/Fitotecnia) –Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas-BA, 2010.

FLEXAS, J.; MEDRANO, H. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. **Annals of Botany**, v.89, p.183-189, 2002.

FYLLAS, N. M. et al. Basin-wide variations in foliar properties of Amazonian forest: phylogeny, soils and climate. **Biogeosciences**, v.6, n.4, p.2677-2708, 2009.

GARRIDO, A. O. **Caracteres silviculturais e conteúdo de nutrientes no folheto de alguns povoamentos puros e misto de espécies nativas**. 1981. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1981.

GONÇALVES, E. R.; FERREIRA, V. M.; SILVA J. V.; ENDRES, L.; BARBOSA, T. B.; DUARTE, W. G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Rev. Bras. De Eng. Agrícola**, Campina Grande, v. 14, n.4, p. 378-386, 2010.

GONÇALVES, J. F. C.; SILVA, C. E. M.; GUIMARÃES, D. G. Fotossíntese e potencial hídrico foliar de plantas jovens de andiroba submetidas à deficiência hídrica e à reidratação. **Pesquisa. Agropecuária. Brasileira**, Brasília, v.44, n.1, p.8-14, 2009.

GRISI, F. A.; ALVES, J. D.; CASTRO, E. M. de; OLIVEIRA, C. de; BIAGIOTTI, G.; MELO, L. A. de. Avaliações anatômicas foliares em mudas de café ‘catuai’ e ‘siriema’ submetidas ao estresse hídrico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.6, p.1730-1736, Nov./dez., 2008.

HOEL, B.O., SOLHAUG, K.A. Effect of irradiance on chlorophyll estimation with the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. **Annals of Botany** – London, v.82, p. 389–392, 1989.

HUBER, A. J.; TRECAMAN, R. V. Eficiencia del uso del agua en plantaciones de Pinus radiata em Chile. **Bosque**, v. 25, n. 3, p. 33-43, 2004.

ILSTEDT, U. *et al.* The effect of afforestation on water infiltration in the tropics: A systematic review and meta-analysis. **Forest Ecology and Management**, v. 251, p. 45-51, 2007.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. **Elaboração de lista de espécies arbóreas nativas para silvicultura e modelos de uso múltiplo**. Disponível em:< http://www.ipef.br/pcsn/documentos/especies_nativas_silvicultura.pdf>. Acesso em 16 julho 2013.

JANKOWSKY, I. P.; CHIMELO, J. P.; CAVALCANTE, A. de A.; GALINA, I. C. M.; NAGAMURA, J. C. S. **Madeiras brasileiras**. Caxias do Sul: Spectrum, 1990. v. 1, 172 p.

JAROSZ, N. *et al.* Carbon dioxide and energy flux partitioning between the understorey and the overstorey of a maritime pine forest during a year with reduced soil water availability. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 148, p. 1508-1523, 2008.

JOKER, D.; SALAZAR, R. *Calophyllum brasiliense* Cambess. Humlebaek: Danida Forest Seed Centre, 2000. 2p. (Seed Leaflet, 46).

KENNAN, R.J. *et al.* Plantations and Water: Plantation Impacts on Stream Flow. Science for Decision Makers. Australian Government. Department of Agriculture, Fisheries and Forestry. Bureau of Rural Sciences. 2006. 8 p. Disponível em: <http://www.acera.unimelb.edu.au/materials/brochures/SDM-PlantationsWater>. Acesso em: 10 de abril de 2013.

KRAUSE, G.H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, **Boca Raton**, v.42, p.313-349, 1991.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RIMA, 2006. 531p.

LAWLOR, D. W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, n. 02, p. 275-279, 2002.

LECHINOSKI, A. Influência do estresse hídrico nos teores de proteínas e aminoácidos solúveis totais em folhas de Teca (*Tectona grandis* L. f.). **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre. v.5, supl.2, p.927-929, jul. 2007.

LEMOS FILHO, J. P. L. Fotoinibição em três espécies do cerrado (*Annona crassifolia*, *Eugenia dysenterica* e *Campomanesia adamantium*) na estação seca e na chuvosa. **Revista Brasileira de Botânica.**, São Paulo, V.23, n.1, p.45-50, 2000.

LIBERATO, M. A. R.; GONÇALVES.; J. F. C.; CHEVREUIL, L. R.; NINA JUNIOR, A. R. N.; FERNANDES, A. V.; SANTOS JUNIOR, U. M. S. Leaf water potential, gas exchange

and chlorophyll a fluorescence in acariquara seedlings (*Minquartia guianensis* Aubl.) under water stress and recovery. **Brazilian Journal Plant Physiology.**, v. 18, n. 2, p. 315-323, 2006.

LIMA, A. C. ; PACE, R. M.; ANGYALOSSY. V. Seasonality and growth rings in lianas of Bignoniaceae. **Trees**, v. 24, p. 1045-1060, set. 2010.

LIMA, D. de A.; ROCHA, M. G. Observações preliminares sobre a Mata do Buraquinho, João Pessoa, Paraíba. **Anais do Instituto de Ciências Biológicas**, Recife, v. 1, n. 1, p. 47-61, 1971.

LIMA, M. A.; BEZERRA, M. A.; FILHO, E. G.; PINTO, C. M.; FILHO, J. E. Trocas Gasosas em Folhas de Sol e Sombreadas de Cajueiro Anão em Diferentes Regimes Hídricos. Ver. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 654-663, 2010.

LOCOSSELLI, G. M.; BUCKERIDGE, M. S.; MOREIRA, M. Z.; CECCANTINI, G. A multi-proxy dendroecological analysis of two tropical species (*Hymenaea* spp., Leguminosae) growing in a vegetation mosaic. **Trees**, v.27, n.1, p. 25-36, ago, 2012.

LOPEZ, J.A.; LITILE JUNIOR, E.L.; RITZ, G.F.; ROMBOLD, J.S.; HAHN, W.J. **Arboles comunes del: Paraguay: riande yvyra mata kuera**. Washington: Cuerpo de Paz, 1987. 425p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, São Paulo, 2002, v. 1, 2. ed. 368p.

LUDLOW, M. M; MUCHOW, R. C. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. **Advance in Agronomy**, São Diego, v.43, p.107-153, 1990.

MACHADO, E. C.; SCHIMIDT, P. T.; MEDINA, C. L.; RIBEIRO, R. V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.12, p.1161-1170, 2005.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. São Paulo: IPT, 1989. 418p.

MARQUES, Marcia Cristina Mendes. **Estudo auto ecológico do guanandi (*Calophyllum brasiliense* Camb. Clusiaceae) em uma mata ciliar no município de Brotas, SP**. 1994. 123f. . Dissertação (Mestrado em Biologia), Universidade Estadual de Campinas, SP, 1994.

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

MAXWELL C.; JOHNSON, G. M. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 51, n. 354, p. 659-668, 2000.

MEDRI, M.E. **Estudos sobre a tolerância ao alagamento em espécies arbóreas nativas da bacia do rio Tibagi**. Londrina: [s.n.], 2002. 172p.

MENDES, K. R.; MARENCO, R. A. Leaf traits and gas exchange in saplings of native tree species in the Central Amazon. **Scientia. Agricola**, Piracicaba, v.67, n.6, p.624-632, 2010.

MENDES, K. R.; MARENCO, R. A.; MAGALHÃES, N. S. Crescimento e eficiência fotossintética de uso do nitrogênio e fósforo em espécies florestais da Amazônia na fase juvenil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.4, p.707-716, 2013.

MENDES, M. M. S.; LACERDA, C. F.; FERNANDES, F. E. P.; CAVALCANTE, A. C. R.; OLIVEIRA, T. S. Ecophysiology of deciduous plants grown at different densities in the semiarid region of Brazil. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v.25, n.2, p.97-108, 2013.

MOUGET, J.; TREMBLIN, G. Suitability of the fluorescence monitoring system (FM, Hansatech) for measurement of photosynthetic characteristics in algae. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v.74, p.219-231, 2002.

MOURA, Adelina Ribeiro de. **Aspectos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) submetidos ao déficit hídrico**. 2010. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

NASCIMENTO, H. H. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, E. C.; SILVA, M. A. Análise do crescimento de mudas de jatobá (*hymenaea courbaril* l.) em diferentes níveis de água no solo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.35, n.3, p.617-626, 2011.

NETO, M, T, C. Efeito do déficit hídrico na transpiração e resistência estomática da mangueira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 93-95, 2003.

NINA JUNIOR, Adamir da Rocha. **Características fotossintéticas, nutricionais e hídricas de espécies arbóreas em diferentes estratos florestais de uma floresta primária do Alto do Rio Negro**. 2009. 88 f. Dissertação (Mestrado Ciências de Florestas Tropicais) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2009.

NOGUEIRA, A., MARTINEZ, C.A., FERREIRA, L.L. & PRADO, C.H.B.A. Photosynthesis and water use efficiency in twenty tropical tree species of differing succession status in a Brazilian reforestation. **Photosynthetica**, Heidelberg, v.42, n.3, p. 351-356, 2004.

NOGUEIRA, R. J. M. C. *et al.* **Aspectos ecofisiológicos da tolerância à seca em plantas da caatinga**. In: NOGUEIRA, R. J. M. C. *et al.* Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2005.500p.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, E. C. Comportamento estomático em plantas jovens de *Schinopsis brasiliensis* Engl. cultivadas sob estresse hídrico. **Iheringia: Série Botânica**, v. 57, n. 1, p. 31-38, 2002.

NOGUEIRA, R.J.M.C.; SANTOS, C.R.; NETO, E.B.; SANTOS, V.F. Comportamento fisiológico de duas cultivares de amendoim a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, p.1963-1969, 1998.

OKI, V.K., 2002. **Impactos da colheita de Pinus taeda sobre o balanço hídrico, a qualidade da água e a ciclagem de nutrientes em microbacias**. Dissertação de Mestrado. ESALQ/USP, Piracicaba. 71p.

PAES, J. B.; MORAIS, V. M.; LIMA, C R. Resistência natural de nove madeiras do semi-árido brasileiro a fungos causadores da podridão-mole. **Revista Árvore**, Viçosa, vol.29, n.3, pp. 365-371, 2005.

PAHLICH, E. Larcher's definition of plant stress: a valuable principle for metabolic adaptibility research. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v.5, p.209-216. 1993.

PALHARES, D.; FRANCO, A. C.; Z Aidan, L. B. P. Respostas fotossintéticas de plantas de cerrado nas estações seca e chuvosa. **Revista brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 213-220, 2010.

PALLARDY, S. G. **Physiology of wood plants**. 3ª ed. United States: Elsevier. 2008. 454 p.

PAULA, J. E.; ALVES, J. L. H. **Madeiras nativas: anatomia, dendrologia, dendrometria, produção, uso**. Brasília; Fundação Mokiti Okada, 1997. 541p.

PENNINGTON, T. D. **Meliaceae**. New York: New York Botanical Garden, 1981. 470 p.

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

PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Seropédica: EDUR, 1998. 150 p.

PINCELLI, Renata Passos. **Tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas**. 2010. 78p. Dissertação (Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu). Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho. Botucatu – SP, 2010.

PINZÓN-TORRES, J. A.; SCHIAVINATO, M. A. Crescimento, eficiência fotossintética e eficiência do uso da água em quatro espécies de leguminosas arbóreas tropicais. **Hoehnea**, v. 35, n. 3, p. 395-404, 2008.

POORTER, H.; EVANS, J. R. Photosynthetic nitrogen-use efficiency of species that differ inherently in specific leaf area. **Oecologia**, v. 116, n. 1, p. 26-37, 1998.

PORRA, R. J.; THOMPSON, W. A.; KRIEDEMANN, P. E. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. **Biochimica et Biophysica Acta**, Amsterdam, v. 975, p. 384-394, 1989.

POTT, A.; POTT, V. J. **Plantas do Pantanal**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, Corumbá: Embrapa Pantanal, 1994. 320 p.

RATTER, J. A.; RICHARDS, P. W.; ARGENT, G.; GIFFORD, D.R. Observations on the forest of some mesotrophic soils in Central Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.1 p. 47-58, 1978.

RÊGO, G. M.; POSSAMAI, E. **Avaliação dos teores de clorofila no crescimento de mudas do jequitibá-rosa (*Cariniana legalis*)**. Colombo: EMBRAPA, 2004. (Comunicado Técnico, 128).

REINHARDT, F. **Down to earth, applying business principles to environmental management**. Harvard Business School Press. Cambridge. 2000.

REITZ, R.; KLEIN, R. M. & REIS, A. **Projeto Madeira de Santa Catarina**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1978. 320 p.

REY, P.; PRUVOT, G.; GILLET, B.; PELTIER, G. Molecular characterization of two chloroplastic proteins induced by water deficit in *Solanum tuberosum* L. plants: involvement in the response to oxidative stress. In: Smallwood, M.F.; Calvert, C.M.; Bowles, D.J. (eds.).

Plant responses to environmental stress, p. 145-152. Oxford, BIOS Scientific Publishers, 1999.

RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C. Some aspects of citrus ecophysiology in subtropical climates: re-visiting photosynthesis under natural conditions. **Brazilian Journal Plant Physiology**, Londrina, v. 19, n. 4, p. 393-411, 2007.

ROCHA, A. M. S.; MORAES, J. A. P. V. Influência do estresse hídrico sobre as trocas gasosas em plantas jovens envasadas de *Stryphnodendron adstringens* (mart.) coville. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal.**, v.9, n.1, p. 41-46, 1997.

RODRIGUES, B. M.; ARCOVERDE, G. B.; ANTONINO, A. C. D.; SANTOS, M. G. Water relations in physic nut according to climatic seasonality, in semiarid conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.9, p. 1112-1115, 2011.

ROZA, Francisvaldo Amaral. **Alterações morfofisiológicas e eficiência de uso da água em plantas de *Jatropha curcas* L. submetidas à deficiência hídrica**. 2010. 67 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus- Ba, 2010.

SALOMÃO , A. N.; ALLEM, A. C. Polyembryony in angiospermous trees of the Brazilian cerrado and caatinga vegetation. **Acta Botanica Brasilica**, v. 15, n. 3, p. 369-378, 2001.

SAUSEN, T. L. **Respostas fisiológicas de *Ricinus communis* à redução na disponibilidade de água no solo**. 2007. 71p. Dissertação de Mestrado em Fitotecnia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul – Porto Alegre – RS, 2007.

SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, R. M.; EUZÉBIO, V. L. M.; KODAMA, F. M.; KISSMANN, C. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de Mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.) **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 655-662, 2011.

SCIPIÃO, Tatiana Teófilo. **Política industrial para promoção de arranjos produtivos locais: um estudo de caso em Marco, Ceará**. 2004. Dissertação (Mestrado em Políticas

Públicas e Sociedade) – Centro de Estudos Sociais Aplicados, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2004.

SEBRAE. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Plano de Desenvolvimento do Arranjo Produtivo Local de Móveis do Marco – Ceará**. Fortaleza, 2008. 158 p.

SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; AZEVEDO NETO, A. D.; BRITO, J. Z.; CABRAL E. L. Aspectos ecofisiológicos de dez espécies em uma área de caatinga no município de Cabaceiras, Paraíba, Brasil. **Iheringia**, Sér. Bot., Porto Alegre, v. 59, n. 2, p. 201-205, 2004.

SILVA, E. C. *et al.* Stomatal changes induced by intermittent drought in four umbu tree genotypes. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 21, n. 1, p. 33-42, 2009.

SILVA, E.C.; NOGUEIRA, R.J.M.C.; AZEVEDO NETO, A.D.; SANTOS, V. F. Comportamento estomático e potencial da água da folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico. **Acta Botanica Brasilica**, v.17, p.231-246, 2003.

SILVA, M. A. V.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; OLIVEIRA, A. F. M.; SANTOS, V. F. Resposta estomática e produção de matéria seca em plantas jovens de aroeira submetidas a diferentes regimes hídricos. **Revista Árvore**, Viçosa, v.32, n.2, p.335-344, 2008.

SILVA, S.; SOARES, A. M.; OLIVEIRA, L. E. M. Respostas fisiológicas de gramíneas promissoras para revegetação ciliar de reservatórios hidrelétricos, submetidos à deficiência hídrica. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 1, p. 124-133, 2001.

SOUZA, S.M.; LIMA, P.C.F. **Caracterização de sementes de algumas espécies florestais nativas do Nordeste**. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 1982, Campos do Jordão. Anais. São Paulo: Instituto Florestal, 1982. p.1156-1167. Publicado na Silvicultura em São Paulo, 1982, v.16 A, parte 2, 1982.

STAPE, J.L., BINKLEY, D., RYAN, M.G. Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.193, p.17-31. 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 918p.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F. Relações hídricas e trocas gasosas na seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com diferenciada disponibilidade de água no solo. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 2, p.387-400, 2008.

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

TOMZAC, Volmar Elias. **Ecofisiologia de mudas de ipê-roxo (Tabebuia impetiginosa Mart. ex. DC. Standal.) submetidas a estresse hídrico**. 2012. 63 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, 2012.

TONELLO, K. C.; FILHO, J. T. Ecofisiologia de três espécies arbóreas nativas da mata atlântica do Brasil em diferentes regimes de água. **Irriga**, Botucatu, v.17, n.1. p. 58-101, 2012.

TORRES NETTO, A. *et al.* Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, v. 104, n. 02, p.199-209, 2005.

TROVÃO, D. M. B. M.; FERNANDES, P. D.; ANDRADE L. A.; NETO J. D. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.11, n.3, p.307–311, 2007.

VALENTE, O.F.; GOMES, M.A. **Conservação de nascentes: hidrologia e manejo de bacias hidrográficas de cabeceiras**. Viçosa–MG: Aprenda Fácil, 2005. 182 p.

VAN DIJK, A. I. J. M.; KEENAN, R. Planted forests and water in perspective. **Forest Ecology and Management**, v. 251, p. 1-9, 2007.

VICTÓRIO, C. P.; KUSTER, R. M.; LAGE, C. L. S. Qualidade de luz e produção de pigmentos fotossintéticos em plantas in vitro de *Phyllanthus tenellus* Roxb. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, p. 213-215, jul. 2007.

VITAL, A.R.T., LIMA, W.P., CAMARGO, F.R.A. Efeitos do corte raso de uma plantação de Eucalyptus sobre o balanço hídrico, a qualidade da água e as perdas de solo e de nutrientes em uma microbacia no Vale do Paraíba, SP. **Scientia Forestalis**, v.55, p.5-16. 1999.

WARREN, C.R.; ARANDA, I.; CANO, F.J. Responses to water stress of gas exchange and metabolites in Eucalyptus and Acacia spp. **Plant, Cell and Environment**, v.34, p.1609-1629, 2011.

WOODCOCK, D. Wood specific gravity of trees and forest types in the southern Peruvian Amazon. **Acta Amazonica**, Manaus v.4, n.3, p.589-599, 2000.

ZENID, G. J. **Madeiras para móveis e construção civil**. Secretaria da Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Econômico do Estado de São Paulo, 2000. 1 CD-ROM. (IPT. Publicação 2779).