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)

Drª. 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 $JUtFROD H GD ³9LOD´ VHUOD LQMXVWR FLWDGLQR QRPH Vandeu Rocha, 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.

³6DEHU PXLWR QmR OKH WRU
inteligência se traduz na forma que você recolhe, julga, maneja e, sobretudo, onde e como aplica HVWD LQIRUPDomR´

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 IRL FRQGX]LGR QR PXQLFtSLR GH $FDUDÚ &HDUi %UD 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 CO_2 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 CO_2 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 (*Astronium fraxinifolium*). Acaraú-CE, 2013. ..... **32**

Figura 4 - Guanandí (*Calophyllum brasiliense* Cambess.). Acaraú-CE, 2013. ..... **34**

Figura 5 - Ipê-Amarelo (*Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nich.). Acaraú-CE, 2013. ..... **35**

Figura 6 - Ipê-Rosa (*Tabebuia impetiginosa*). Acaraú-CE, 2013. ..... **36**

Figura 7 - Marupá (*Simarouba amara* Aubl.). Acaraú-CE, 2013. ..... **38**

Figura 8 - Mogno (*Swietenia macrophylla* 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 (*Swietenia macrophylla* King), Guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess.) e Gonçalo Alves (*Astronium fraxinifolium*) 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 (*Simarouba amara* Aubl.), Ipê-Amarelo (*Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nich.) e Ipê-Rosa (*Tabebuia impetiginosa*) 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 (Ci/Ca) 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.), 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. ..... **87**

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. ..... **88**

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. ..... **91**

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. ..... **92**

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. ..... **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 vaiáveis: 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 (gs), transpiração (E), eficiência intrínseca do uso da água (A/gs) 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 vaiáveis: relação interno/externo de CO_2 (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. ..... **68**

Tabela 6 - Resumo da análise de variância para as vaiáveis: relação interno/externo de CO_2 (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. ..... **68**

Tabela 7 - Resumo da análise de variância para as vaiáveis 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 a 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 ±EFFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA DO USO DE NITROGÊNIO

A/P ±EFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA DO USO DE FÓSFORO

Ci/Ca ±RELAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO INTERNA/EXTERNA DE CO_2

E ±TAXA DE TRANSPIRAÇÃO

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

3.5.4. Fluorescência da clorofila a 44
3.5.5 Área foliar especifica e grau de suculência 45
3.5.6. Teor de nitrogênio e fósforo das folhas 45
3.5.7. Análise de crescimento 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. Taxa de fotossíntese (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E) e eficiência do uso da água 52
4.2.2. Relação da concentração interna e externa de CO_2 (Ci/Ca) e temperatura da folha (T_{leaf}) 67
4.2.3. Eficiência fotossintética do uso no nitrogênio (A/N) e fósforo (A/P) 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. Altura da planta e diâmetro do caule 85
4.6.2. Taxa de crescimento absoluto (TCA) e taxa de crescimento relativo (TCR) 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 potencia 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 consequentemente a evolução do setor no país. No ponto de vista ambiental o plantio de florestas no Brasil também se mostra estratégico na captura de CO_2, 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 da 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 consequentemente 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 consequentemente, 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).

2 IHFKDPHQWR HVWRPiWLFR UHIOHWH DLQGD QD do fluxo de absorção do CO_2 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 CO_2 na folha e a perda de vapor G ¶ i J X D a SDUD 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 consequentemente 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 $ FORURILOD ³D´ HVWi SUHVHQWH HP W fotossíntese e é considerado o principal pigmento, sendo os demais pigmentos acessórios: a FORURILOD ³E´ p RXWUR WLSR GH SLJPHQWR IRWRVVLQWpWLFR conteúdo nas plantas, as folhas verdes e algumas EDFWpULDV D FORURILOD ³F´ HP IHyILWDV H GLDWRPiFHDV 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 perca 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 1, 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 CO_2 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 demostrarem 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

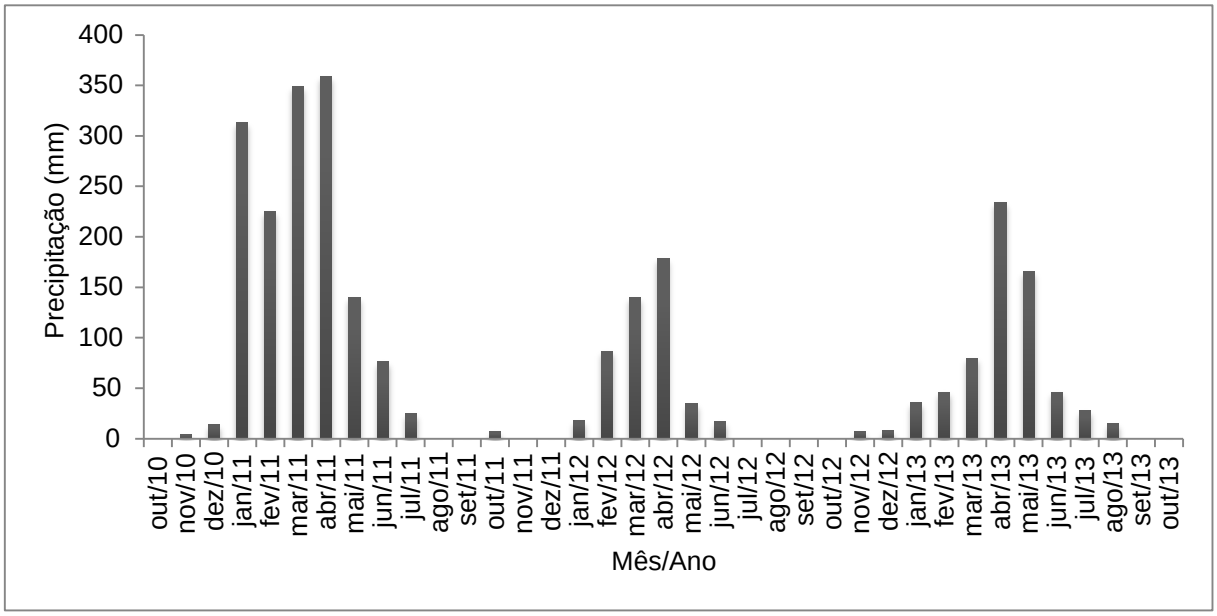
O trabalho foi conduzido no período de setembro de 2012 a julho de 2013 em uma área experimental da Embrapa, localizado no perímetro irrigado do Baixo Acaraú, situada a 2,2 Km da margem direita da CE-178, no município de Acaraú, Ceará, Brasil, com F R R U G H Q D G D V G H ƒ ¶ ¶¶ G H O D W L W X G H 6 X O ƒ ¶ 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^{o} C; temperatura média anual 28,1^{o} 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 quarzoarênico (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/dm³	----------$mmol_c/dm^3$----------							%
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
(cm)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Argila Natural	
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/cm³)		Umidade (g/100g)			Grau de Floculação
(cm)	Global	Partícula	0,033 MPa	1,5 MPa	Água Útil	(g/100g)
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 poliembrionia de 4% (CARVALHO, 2010; SALOMÃO; ALLEM, 2001).

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

Fonte: Elaboração do autor.

2FRUUH QDWXUDOPHQWH HQWUH DV ODWLWXGHV Grosso do Sul, e tem como variação atitudinal 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 revessa. 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).

2 FRUUH QDWXUDOPHQWH HQWUH DV ODWLWXGHV
Brasil, em Santa Catarina, e tem como variação atitudinal 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 grosa 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 Espirito 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